

鋼骨梁柱接頭橫隔板耐震性能研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 100 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

鋼骨梁柱接頭橫隔板耐震性能研究

受委託者：蔡克銓

研究主持人：鄭元良

協同主持人：蔡克銓

研 究 員：汪家銘

研究助理：林克強、莊勝智

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 100 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

表次	III
圖次	V
照片次	IX
摘要	XV
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究目的	2
第三節 研究方法	2
第二章 文獻回顧	9
第三章 ESW 元件試體有限元素模型分析	11
第一節 有限元素分析模型介紹	11
第二節 有限元素分析模型參數研究	12
第三節 有限元素模型分析結果	13
第四章 橫隔板與箱型柱電熱熔渣銲接合試驗	31
第一節 試體設計	31
第二節 試體製造與檢測	31
第三節 試驗方法	32
第四節 試驗過程	33
第五節 試驗與有限元素模型分析結果比較	36

第五章 實尺寸鋼梁與箱型柱接頭試驗	73
第一節 試體設計	73
第二節 試體製造	73
第三節 試驗方法	74
第四節 試驗過程	75
第五節 試驗結果與討論	77
第六章 結論與建議	93
第一節 結論	93
第二節 建議	94
附錄一 專家座談會會議紀錄與簡報	97
附錄二 期中與期末審查會議審查意見	121
參考書目	127

表次

表 3-1 試體 RC13 實際材料強度表	15
表 3-2 有限元素分析組數	15
表 4-1 電熔渣鐳元件試體參數表	38
表 4-2 ESW 元件試驗試體之實際材料強度表	38
表 5-1 試體梁柱桿件尺寸及參數表	78
表 5-2 實際材料強度表	78
表 5-3 試體試驗強度及變形一覽表	79

圖次

圖 1-1 箱型柱梁柱接頭示意圖	4
圖 1-2 電熔渣銲元件試驗示意圖	4
圖 1-3 實尺寸鋼骨梁柱接頭試驗裝置圖	5
圖 1-4 研究方法與流程	6
圖 3-1 有限元素分析模型	16
圖 3-2 電熔渣銲接合細節示意圖	16
圖 3-3 有限元素分析使用之材料模型	17
圖 3-4 ESW 熔透直徑大小參數	17
圖 3-5 ESW 垂直偏心位置參數	18
圖 3-6 梁翼板往上偏心位置參數	18
圖 3-7 ESW 熔透直徑為 38mm 之分析結果比較圖	19
圖 3-8 ESW 熔透直徑為 41mm 之分析結果比較圖	20
圖 3-9 ESW 熔透直徑為 44mm 之分析結果比較圖	21
圖 3-10 ESW 熔透直徑為 38mm 時，採用不同垂直偏心量之分析 結果比較圖	22
圖 3-11 ESW 熔透直徑為 41mm 時，採用不同垂直偏心量之分析 結果比較圖	23
圖 3-12 ESW 熔透直徑為 44mm 時，採用不同垂直偏心量之分析 結果比較圖	25

圖 3-13 ESW 垂直偏差為 0 時，採用不同 ESW 鐸道直徑大小之 分析結果比較圖	26
圖 3-14 ESW 垂直偏差為-3 時，採用不同 ESW 鐸道直徑大小之 分析結果比較圖	27
圖 3-15 ESW 垂直偏差為-5 時，採用不同 ESW 鐸道直徑大小之 分析結果比較圖	28
圖 3-16 梁柱接頭試體發生電熔渣鐸鐸道破壞之 PEEQ 指標...	29
圖 4-1 電熔渣鐸元件試體標準圖	39
圖 4-2 箱型柱試體之柱面方向標示	39
圖 4-3 箱型柱 R 與 L 側電溶渣鐸之熔透範圍.....	40
圖 4-4 箱型柱 F 與 N 側電溶渣鐸之熔透範圍.....	41
圖 4-5 ESW 元件試體之梁翼位置與方向	42
圖 4-6 ESW 元件試體之應變計位置	42
圖 4-7 試體 CC 之位移與力量關係圖	43
圖 4-8 試體 EC 之位移與力量關係圖.....	43
圖 4-9 試體 CE+8 之位移與力量關係圖	44
圖 4-10 試體 EE+8 之位移與力量關係圖.....	44
圖 4-11 試體 CE+25 之位移與力量關係圖.....	45
圖 4-12 試體 EE+25 之位移與力量關係圖.....	45
圖 4-13 試體 EE-16 之位移與力量關係圖.....	46
圖 4-14 試體 EE-25 之位移與力量關係圖.....	46
圖 4-15 有限元素分析使用之 SN490B 鋼材真實材料模型.....	47

圖 4-16	試體 EE+8 之試驗結果與有限元素分析結果之比較....	47
圖 4-17	試體 CC 與 EC 之橫隔板應變比較圖	48
圖 4-18	試體 CE+8 與 EE+8 之橫隔板應變比較圖	48
圖 4-19	試體 CE+25 與 EE+25 之橫隔板應變比較圖	49
圖 4-20	試體 CC、CE+8 與 CE+25 之橫隔板應變比較圖	49
圖 4-21	試體 EC、EE+8 與 EE+25 之橫隔板應變比較圖.....	50
圖 5-1	實尺寸鋼結構梁柱接頭試體設計圖	80
圖 5-2	箱型柱之柱面方向標示	80
圖 5-3	箱型柱東側與西側電熱熔渣銲之熔透範圍	81
圖 5-4	箱型柱北側與南側電熱熔渣銲之熔透範圍	81
圖 5-5	試體架設圖	82
圖 5-6	試驗歷時圖	82
圖 5-7	梁柱交會區之量測儀器裝置圖	83
圖 5-8	梁翼蓋板之設計參數	83
圖 5-9	試體 EC 梁端受力與總變形轉角關係圖.....	84
圖 5-10	試體 EC 梁端受力與總塑性變形轉角關係圖.....	84
圖 5-11	試體 EE 梁端受力與總變形轉角關係圖	85
圖 5-12	試體 EE 梁端受力與總塑性變形轉角關係圖	85

照片次

照片 1-1 箱型柱對應於柱內 ESW 銲道位置之柱板受拉破壞情形	7
照片 1-2 箱型柱內 ESW 銲道附近熱影響區破壞	7
照片 3-1 電熔渣銲銲道直徑與熔融範圍之試片	30
照片 4-1 ESW 元件試體試驗於 500 噸萬能試驗機之情況	51
照片 4-2 ESW 元件試體之位移計安裝位置	51
照片 4-3 ESW 元件試體之影像量測測點位置	52
照片 4-4 試體 CC 於試驗位移為 75.8mm 時，上翼板之掉漆情況	52
照片 4-5 試體 CC 於試驗位移為 75.8mm 時，柱內隔板之掉漆情 況	53
照片 4-6 試體 CC 於試驗位移為 75.8mm 時，下翼板之掉漆情況	53
照片 4-7 試體 CC 於試驗結束後，上翼板之斷裂情況	54
照片 4-8 試體 EC 於試驗位移為 71.9mm 時，翼板切削段圓弧處 於厚度方向發生內縮情況	54
照片 4-9 試體 EC 於試驗位移為 83.7mm 時，上翼板之掉漆情況	55
照片 4-10 試體 EC 於試驗位移為 83.7mm 時，柱內隔板之掉漆 情況	55

照片 4-11 試體 EC 於試驗位移為 83.7mm 時，下翼板之掉漆情況	56
照片 4-12 試體 EC 於試驗結束後，下翼板之斷裂情況....	56
照片 4-13 試體 CE+8 於試驗位移為 60.8mm 時，上翼板之掉漆情況.....	57
照片 4-14 試體 CE+8 於試驗位移為 60.8mm 時，柱內隔板之掉漆情況.....	57
照片 4-15 試體 CE+8 於試驗位移為 60.8mm 時，下翼板之掉漆情況.....	58
照片 4-16 試體 CE+8 於試驗結束後，上翼板之斷裂情況	58
照片 4-17 試體 EE+8 於試驗位移為 97.5mm 時，試體上翼板東側切削圓弧段之開裂情況.....	59
照片 4-18 試體 EE+8 於試驗位移為 97.5mm 時，上翼板之掉漆情況.....	59
照片 4-19 試體 EE+8 於試驗位移為 97.5mm 時，柱內隔板之掉漆情況	60
照片 4-20 試體 EE+8 於試驗位移為 97.5mm 時，下翼板之掉漆情況	60
照片 4-21 試體 EE+8 於試驗結束後，上翼板之斷裂情況.....	61
照片 4-22 試體 CE+25 於試驗位移為 10.7mm 時，柱板之掉漆情況.....	61

照片 4-23	試體 CE+25 於試驗位移為 55.8mm 時，上翼板之掉漆情況	62
照片 4-24	試體 CE+25 於試驗位移為 55.8mm 時，柱內隔板之掉漆情況	62
照片 4-25	試體 CE+25 於試驗位移為 55.8mm 時，下翼板之掉漆情況	63
照片 4-26	試體 CE+25 於試驗位移為 63.3mm 時，試體之破壞情況	63
照片 4-27	試體 EE+25 於試驗位移為 8.4mm 時，柱板之掉漆情況.....	64
照片 4-28	試體 EE+25 於試驗位移為 12.4mm 時，柱板之掉漆情況	64
照片 4-29	試體 EE+25 於試驗位移為 32.6mm 時，上翼板之掉漆情況	65
照片 4-30	試體 EE+25 於試驗位移為 32.6mm 時，下翼板之掉漆情況	65
照片 4-31	試體 EE+25 於試驗位移為 32.6mm 時，柱板外拱之情況	66
照片 4-32	試體 EE+25 於試驗位移為 40.8mm 時，試體之破壞情況	66

照片 4-33	試體 EE-16 於試驗位移為 133.3mm 時，上翼板切削段圓弧處開始有輕微開裂現象	67
照片 4-34	試體 EE-16 於試驗位移為 133.3mm 時，柱板外拱之情況	67
照片 4-35	試體 EE-16 於試驗位移為 133.3mm 時，上翼板之掉漆情況	68
照片 4-36	試體 EE-16 於試驗位移為 133.3mm 時，下翼板之掉漆情況	68
照片 4-37	試體 EE-16 於試驗結束後，上翼板之斷裂情況.....	69
照片 4-38	試體 EE-25 於試驗位移為 62.2mm 時，上翼板之掉漆情況	69
照片 4-39	試體 EE-25 於試驗位移為 62.2mm 時，柱內隔板之掉漆情況	70
照片 4-40	試體 EE-25 於試驗位移為 62.2mm 時，下翼板之掉漆情況	70
照片 4-41	試體 EE-25 於試驗位移為 62.2mm 時，柱板之掉漆情況	71
照片 4-42	試體 EE-25 於試驗位移為 85.5mm 時，試體之破壞情況(1).....	71
照片 4-43	試體 EE-25 於試驗位移為 85.5mm 時，試體之破壞情況(2).....	72
照片 5-1	試體架設圖	86

照片 5-2 試體 EC 於尖峰位移角 0.01 弧度時，梁翼板掉漆情況	86
照片 5-3 試體 EC 於尖峰位移角 0.015 弧度時，蓋板掉漆情況	87
照片 5-4 試體 EC 於尖峰位移角 0.015 弧度時，梁腹板掉漆情況	87
照片 5-5 試體 EC 於尖峰位移角 0.03 弧度時，蓋板尖端開裂情況	88
照片 5-6 試體 EC 於尖峰位移角 0.05 弧度時，梁翼板與腹板挫屈 情況.....	88
照片 5-7 試體 EC 於尖峰位移角 0.05 弧度時，蓋板銲道開裂情況	89
照片 5-8 試體 EC 於尖峰位移角 0.05 弧度第二迴圈時，上翼板斷 裂情況.....	89
照片 5-9 試體 EE 於尖峰位移角 0.015 弧度時，蓋板掉漆情況	90
照片 5-10 試體 EE 於尖峰位移角 0.015 弧度時，梁腹板掉漆情況	90
照片 5-11 試體 EE 於尖峰位移角 0.03 弧度時，對應下翼板之柱 板受拉拱起情況.....	91
照片 5-12 試體 EE 於尖峰位移角 0.03 弧度時，對應上翼板之柱 板受拉拱起情況.....	91

摘要

關鍵詞：箱型柱、電熱熔渣銲、累積塑性應變、超音波檢測

一、研究緣起

國內鋼結構建築之箱型柱與寬翼梁構成的抗彎接合中，箱型柱內與梁翼板同高處配置柱內橫隔板，且箱型柱與內橫隔板間至少一對接合銲道使用電熱熔渣銲之接合細節，已成為國內鋼構界之工業化製造標準。但在過去許多針對此接合細節之梁柱接頭試驗結果中可發現，當接頭尚未發展明顯非線性變形前，常在電熱熔渣銲道之熱影響區附近發生脆性破壞，其破壞機率約為 25%。由關於電熱熔渣銲之研究成果發現，箱型柱內橫隔板採電熔渣銲與柱板接合之梁柱接頭耐震性能可靠度不佳，此顯示國內採用電熱熔渣銲之箱型柱梁接頭，在未發展充分非線性變形能力前有較高之破壞機率，研究也顯示此電熱熔渣銲製作與檢測品質仍有改善空間，值得國內工程界及鋼構業重視。故本研究將針對箱型柱內橫隔板與柱板間電熔渣銲之局部構件與實尺寸梁柱接頭之有限元素模型分析與試驗研究，提出改善之柱內橫隔板接合細節與設計建議，以提昇國內常用鋼骨箱型柱採電熔渣銲製作內橫隔板所對應之梁柱接頭耐震性能。

二、研究方法及過程

本研究規劃採用的研究方法與過程為：(1)針對箱型柱採電熔渣銲接合之柱內橫隔板子結構，利用變化相關研究參數進行有限元素分析研究；(2)選擇特徵參數針對此子結構進行試驗研究，並比較解析與試驗研究結果，做為實尺寸梁柱接頭驗證試驗之依據；(3)選擇最佳接合細節，進行實尺寸梁柱接頭進行解析與試驗研究並比較試驗結果；(4)綜合前述之研究成果，提出改善之設計建議。

三、重要發現

由有限元素分析結果、電熱熔渣銲元件試驗結果與實尺寸梁柱接頭試驗結果可歸納出下列結論：

1. 由柱內橫隔板電熱熔渣鐸道 (ESW) 元件之有限元素模型分析結果顯示，當柱內 ESW 位置偏差或柱外梁翼板鐸接位置偏差時，其累積塑性應變(PEEQ)指標明顯提升。
2. 本研究採用變換 ESW 鐸道直徑大小之參數，分析結果顯示當 ESW 鐸道直徑愈小時，其 PEEQ 與 Opening 指標有上升之趨勢。
3. 針對 28mm 厚柱板與 25mm 厚柱內橫隔板所形成之 25x25mm 熔填池，初步對電熱熔渣鐸之製作程序、超音波檢測與剖開驗證等結果進一步比對，可獲得以下結論，(1) 分別刻意將電熱熔渣鐸導管對熔填池中心偏移 3mm 或不偏移之鐸接，無法獲得相對應之電熱熔渣鐸道偏移結果，(2) 不同直束探頭尺寸與頻率之超音波熔線位置檢測與實際切開驗證結果比較顯示，10mm 直徑探頭配合 5MHz 頻率獲得較準確之結果，採用 20mm 直徑探頭之掃描結果較不理想，20mm 探頭配合 5MHz 頻率之熔線位置檢測結果誤差達 10mm。此超音波熔線位置檢測結果應與檢測人員有關，但本研究未將此參數納入探討。
4. 由 8 組柱內橫隔板 ESW 元件試體之試驗結果比較顯示，當柱內橫隔板之 ESW 鐸道或柱外梁翼板鐸接位置發生偏差時，其柱內橫隔板之應變有增加之趨勢，尤其當柱外梁翼板與柱內橫隔板偏差 25mm 時，柱板容易因受梁翼板之拉力而外拱破壞，且此破壞為承載力瞬間突然喪失之脆性破壞。
5. 由實尺寸梁柱接頭試驗結果顯示，當梁翼板與柱內橫隔板高程偏心 25mm 時，梁塑性轉角尚未達到 3% 弧度前，即發生柱板受梁翼板拉力產生外拱，且造成梁彎矩瞬間喪失之破壞模式，研判此破壞發生於柱板與柱內橫隔板間之電熱熔渣鐸鐸道，但實際詳細破壞情形需切開破壞位置加以證實；另一組梁翼板鐸接高程與柱內橫隔板高程一致之試體試驗結果顯示，梁塑性轉角能力可達 4% 弧度。在此也特別說明，在製作此兩組試體梁所對應之柱內橫隔板與柱板接合之電熱熔渣鐸鐸道時，以刻意將電熱熔渣鐸之鐸接導管偏移，故意製造電熱熔渣鐸偏斜之熔透不足鐸道，但於鐸道製作完成後由超音波檢測結果顯示，電熱熔渣鐸之鐸接邊緣並未

發現明顯熔透不足現象，故本實尺寸試體無法獲得因電熱熔渣銲銲道偏斜之熔透不足的試驗條件。

6. 本研究所採用之電熱熔渣銲銲道偏心情形皆依超音波檢測之結果為準，但柱板與柱內橫隔板間之電熱熔渣銲銲道之真實位置與熔線位置，尚待後續將電熱熔渣銲元件試體與實尺寸梁柱接頭試體在該銲道位置切割，一方面驗證超音波檢測熔線位置之準確性，另一方面可藉由巨觀金相試片觀察柱板受拉外拱破壞情況，以研判造成破壞之因素。
7. 為獲得國內鋼構業之電熱熔渣銲製造品質與超音波檢測精度之實際情形，尚需與更多鋼構廠合作，針對電熱熔渣銲製作流程與超音波檢測技術進行調查研究，以增加樣本數與可靠度。

四、主要建議事項

根據本研究成果，針對鋼骨箱型柱柱內橫隔板製作實務中，電熱熔渣銲之製造與超音波檢測技術，提出下列具體建議。以下分別從立即可行建議加以列舉。

建議一

鋼構施工偏差：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：春源鋼鐵工業股份有限公司

於鋼構實務中避免柱內橫隔板與柱外梁翼板之施工偏差以降低梁柱接頭發生電熱熔渣銲銲道破壞之機率。

建議二

鋼構施工偏差：立即可行建議

鋼骨梁柱接頭橫隔板耐震性能研究

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：春源鋼鐵工業股份有限公司

於施作箱型柱內電熱熔渣銲時，應符合製造商提供之電熱熔渣銲銲接程序，以獲得穩定銲道品質。

建議三

鋼構施工偏差：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：春源鋼鐵工業股份有限公司

當施作箱型柱內電熱熔渣銲工作完成時，後續超音波檢測不應只檢測電熱熔渣銲之熔幅範圍是否足夠，尚需配合真實柱內橫隔板位置放樣於柱板上，確認電熱熔渣銲之熔幅範圍足以涵蓋並超過橫隔板之厚度。

ABSTRACT

Keywords: box column, Electroslag welding, equivalent plastic strain, ultrasonic tests

Moment connections formed by box column and wide flange beams are extensively used in the steel buildings in Taiwan. The diaphragms inside a box column are installed at the same elevations where the beam flanges are connected to the column. For each diaphragm, there are four connections between the sides of the diaphragm and its adjacent column flanges. In the Taiwan structural steel fabrication practice, it is commonly seen that at least one pair of the diaphragm-to-column flange (D-to-CF) connections in a diaphragm are fabricated by using the Electroslag welding (ESW) details. However, many past experimental results show that, for a beam-to-column connection with the ESW joints, there is approximate a 25% chance of a brittle fracture occurring near the heat affected zone (HAZ) of the ESW. Therefore, the objectives of this research include: (1) understanding the mechanical behaviors of the ESW D-to-CF connection in the box column and (2) suggesting refined fabrication details for the ESW in order to avoid the brittle damage and to enhance the seismic performance of the beam-to-box connection.

The results of finite element analysis, ESW member tests, and full-scale beam-to-column tests represent that the equivalent plastic strain (PEEQ) obviously increase when eccentricities of ESW or beam flange were happened. And column plate damage from tensile flange would took place easily when the eccentricity between the diaphragm and beam flange reaches 25 mm. This damage is the brittle fracture and strength suddenly gone. In addition, it is concluded as follows from fabrication, ultrasonic tests, and dissecting of ESW with 28mm column plate and 25mm diaphragm. (1) when the eccentricity between the guide tube of ESW and melting pool center reaches 3 mm, the actual eccentricity is not 3mm. (2) the comparison results between melt range from UT test using different size and frequency of detectors and real melt range shows using 10mm and 5MHz detector obtain more accurate ultrasonic test results.

第一節 研究緣起與背景

在國內鋼結構建築中，由四片鋼板所組成之箱型斷面柱構件的應用極為普遍，為使箱型柱構件與 H 形梁構件之接合符合抗彎接合之力學特性，在箱型柱內與梁翼板同高程處配置柱內橫隔板，以順利傳遞梁端彎矩，如圖 1-1 所示。國內鋼結構實務中，箱型柱在梁柱接頭處採直通連續，橫隔板配置於箱型柱內部，為順利且經濟地製作柱內橫隔板，國內鋼構廠乃於內橫隔板與柱板間，至少一組相對接合採用電熔渣銲 (Electro-Slag Welding, ESW) 之單道熔填銲道製作，此箱型柱內橫隔板製作細節為國內鋼結構實務普遍使用且特有之細節，依目前鋼結構製造技術，此細節已幾乎為工業化標準，並已大量使用於國內鋼結構建築之梁柱接頭中，而國外的應用較不普遍。理論上，柱內橫隔板採用電熔渣銲可提供足夠強度以傳遞梁柱接頭中梁翼板之拉力。

但相關研究成果[1,2,3]顯示，許多應用於實際工程之 H 形梁接箱型柱之梁柱接頭中，即使梁翼採切削細節來降低梁翼板拉力需求，與對應柱內橫隔板為電熔渣銲道之柱面接合試體的試驗結果發現，柱內橫隔板與柱板接合之電熔渣銲道，其接合之強度與韌性能力明顯較多道熔填之 FCAW 或 SMAW 全滲透銲道不可靠，常發生不被預期的脆性破壞機率極高，如照片一與照片二所示，經統計破壞機率約為 25~40% 之間。探討破壞原因發現，製作偏斜的電熔渣銲被研判為此梁柱接頭試體造成破壞的主要原因，同時電熔渣銲的高入熱量亦對柱板材質造成相當大的影響。另一方面，由銲道檢測程序也顯示，所有試體於箱型柱構件製作完成後，其電熔渣銲均經超音波檢測合格，再進行梁構件接合，但從電熔渣銲破壞之部分剖面巨觀試片發現，部分區域之電熔渣銲道仍有熔透瑕疵現象，因此超音波檢測合格標準或可靠度仍有調整空間。有關電熔渣銲幾何位置與形狀之相關解析研究[4]，利用尖端開口位移、應力三軸度與破裂指數等三指標評估其破壞潛勢，研究成果顯示，當電熔渣銲與內橫隔板偏移顯著時，尖端開口位移與應力三軸度指標明顯提升，有發生破壞之趨勢。另外針對文獻[1]中 A572GR50 材質未接梁之柱板與內部電熔渣銲相鄰處熱影響區進行硬度與衝擊強度試驗[5]，結果顯示其熱影響區有硬度增大，衝擊強度值有顯著降低之現象，此顯示該

熱影響區有脆化現象發生。

上述相關之研究成果發現，箱型柱內橫隔板採電熔渣銲與柱板接合之梁柱接頭耐震性能可靠度不佳，此顯示國內採用電熱熔渣銲之箱型柱梁接頭，在未發展充分非線性變形能力前有較高之破壞機率，研究也顯示此電熱容渣銲製作與檢測品質仍有改善空間，值得國內工程界及鋼構業重視。

第二節 研究目的

過去針對鋼骨箱型柱梁接頭試驗結果顯示，當鋼梁與箱型柱電熔渣銲道所對應之柱板接合時，其發生電熔渣銲破壞之機率頗高，此破壞將影響鋼骨梁柱接頭之耐震性能。故本研究將針對箱型柱內橫隔板與柱板間電熔渣銲之局部構件與實尺寸梁柱接頭之有限元素模型分析與試驗研究，提出改善之柱內橫隔板接合細節與設計建議，以提昇國內常用鋼骨箱型柱採電熔渣銲製作內橫隔板所對應之梁柱接頭耐震性能。

第三節 研究方法

本研究規劃採用的研究方法為：(1)針對箱型柱採電熔渣銲接合之柱內橫隔板子結構，利用變化相關研究參數進行有限元素分析研究；(2)選擇特徵參數針對此子結構進行試驗研究，並比較解析與試驗研究結果，做為實尺寸梁柱接頭驗證試驗之依據；(3)選擇最佳接合細節，進行實尺寸梁柱接頭進行解析與試驗研究並比較試驗結果；(4)綜合前述之研究成果，提出改善之設計建議。各子項之研究方法預期進行內容如下：

首先須針對電熔渣銲元件試體進行試驗研究，該電熔渣銲元件試體包含箱型柱、橫隔板與梁翼板，其中梁翼板採用開槽全滲透銲接與箱型柱電熔渣銲對應之柱板相接，其試體之示意圖如圖 1-2 所示，為儘可能使此試體與實際梁柱接頭之梁翼板及柱翼板接合之受力行為相近，故設計此子結構試體之最大應力發生於梁翼板與柱接合處，為達到此目的，試體設計時將梁翼板在靠近柱構件區域縮小梁翼板寬度，使試體之破壞儘可能發生於接合處。而

在分析研究參數方面，於進行試驗前將使用 ABAQUS 有限元素軟體進行分析模型之建立，並變換參數，了解柱板與電熔渣銲接合熱影響區(Heat Affect Zone, HAZ)與梁翼板之應力分布狀況，目前規劃的研究參數為(1)變化電熔渣銲道直徑大小，(2)變化電熔渣銲偏心位置，(3)變化梁翼板之位置，其研究參數之細節將於後面章節詳述。同時間進行鋼材、電熔渣銲道、熱影響區與梁翼全滲透銲道之材料試驗，此材料試驗包含拉伸試驗、硬度試驗與衝擊試驗，將利用此試驗資料獲得鋼材、電熔渣銲道、熱影響區與梁翼全滲透銲道之材料模型，並考慮於有限元素分析模型中，提升模型分析之正確性。

於有限元素分析結束後，將會從有限元素分析結果決定具代表性之參數，以進行試體設計與製作，目前決定電熔渣銲元件試體組數以 8 組為原則，該試體之變化參數亦於後面章節詳述，由於橫隔板電熔渣銲為本計劃研究重點之一，故待試體製造完成後必須針對電熔渣銲道進行非破壞檢測，確認電熔渣銲道品質與並標示熔合位置，當非破壞檢測完成後方可開始進行電熔渣銲元件試體試驗，並與分析結果比對，探討試驗破壞模式及位置與分析應力結果之關係，此時亦可依據試驗結果修正有限元素分析模型。

最後綜合電熔渣銲元件試驗結果與有限元素分析結果，選擇最佳的內橫隔板或電熔渣銲道設計細節，著手進行實尺寸鋼骨梁柱接頭試體設計，並進行試驗，其試驗裝置圖如圖 1-3 所示，初步規劃兩組實尺寸鋼骨梁柱接頭試體，其中一組採用本計劃考慮 ESW 銲道偏移研究參數所製作之鋼骨梁柱接頭，而另組一組為對照組，採用正常施工程序製作 ESW 銲道無偏移之鋼骨梁柱接頭試體，比較兩組試體耐震性能之差別，最後彙整電熔渣銲元件試驗結果、實尺寸鋼骨梁柱接頭試驗結果與有限元素分析結果以撰寫研究報告，本計畫整個研究方法與流程如圖 1-4 所示。

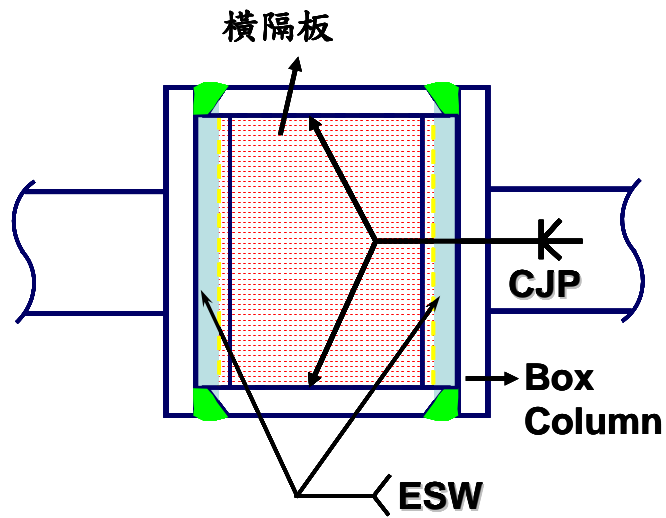


圖 1-1 箱型柱梁柱接頭示意圖

(資料來源：林克強等，2010)

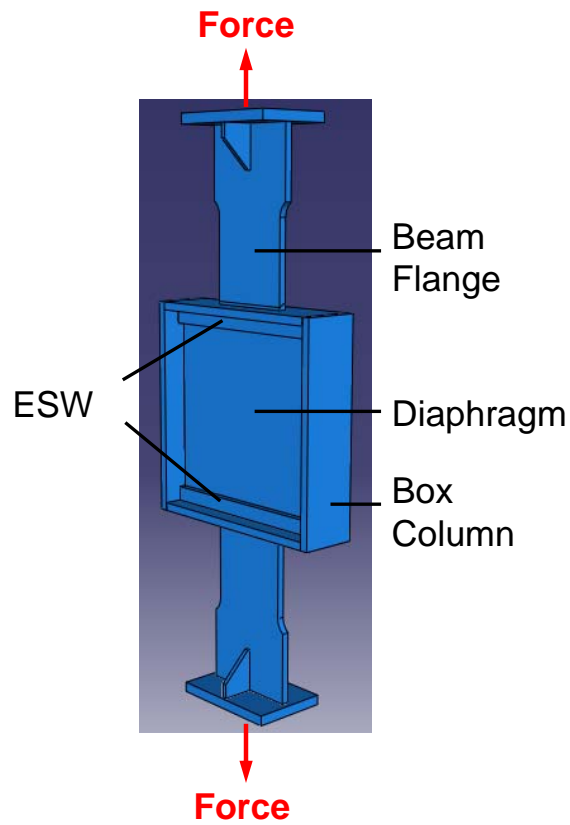


圖 1-2 電熔渣鐸元件試驗示意圖

(資料來源：本研究製作)

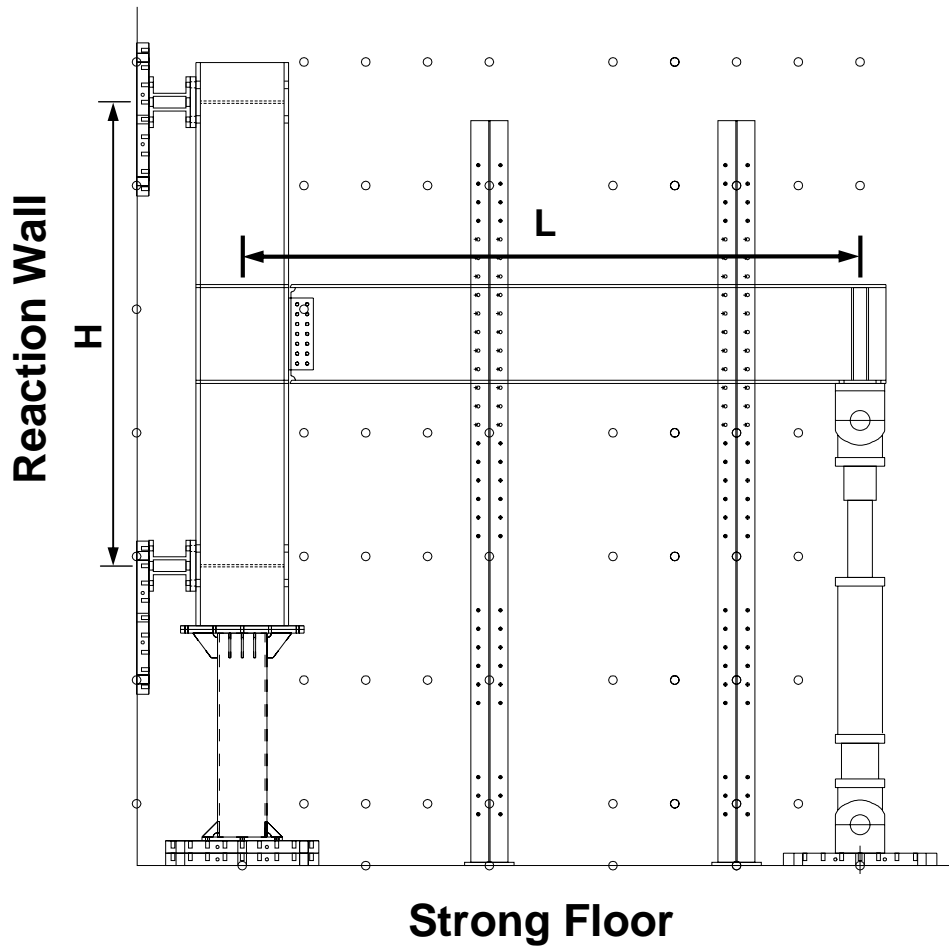


圖 1-3 實尺寸鋼骨梁柱接頭試驗裝置圖

(資料來源：林克強等，2010)

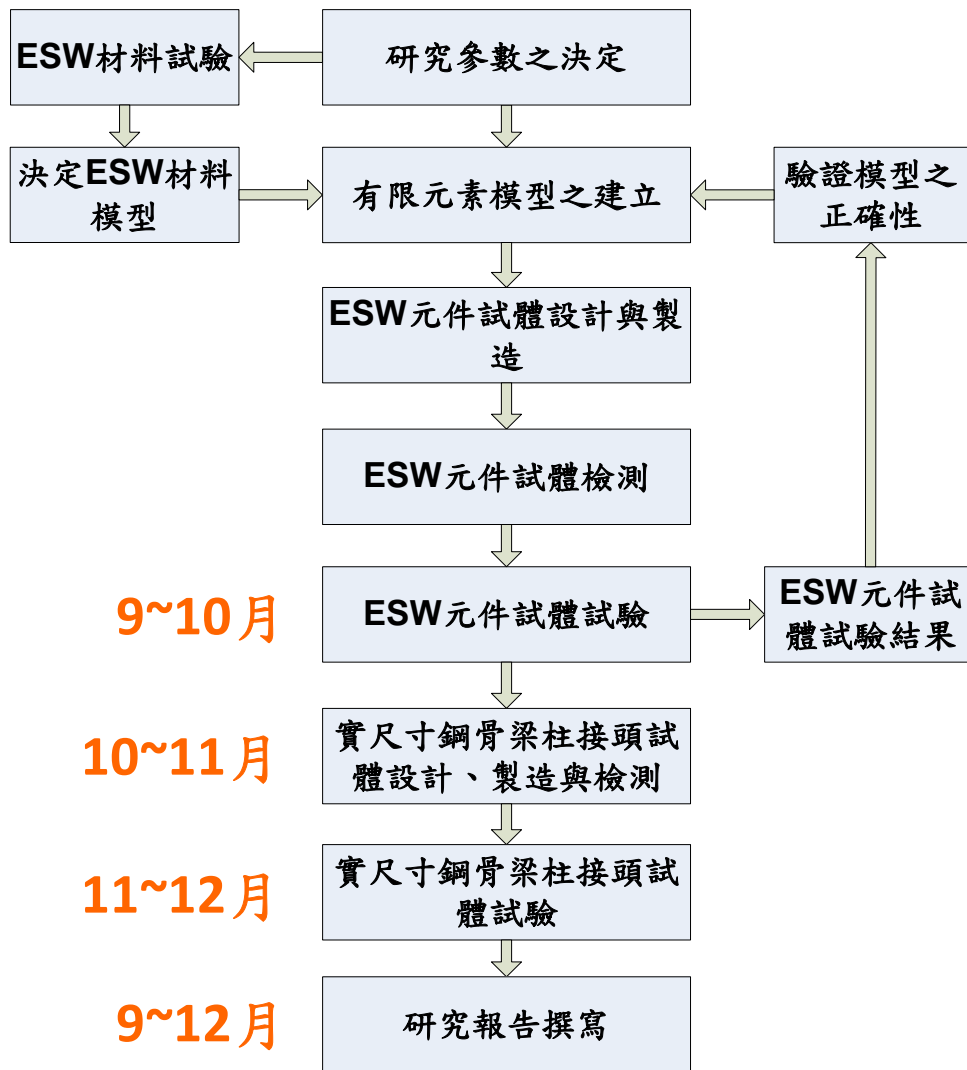


圖 1-4 研究方法與流程

(資料來源：本研究製作)



照片 1-1 箱型柱對應於柱內 ESW 銲道位置之柱板受拉破壞情形
(資料來源：林克強等，2010)



照片 1-2 箱型柱內 ESW 銲道附近熱影響區破壞
(資料來源：林克強等，2010)

第二章 文獻回顧

由於本計劃之鋼骨梁柱接頭為 H 鋼梁與箱型柱接合之接頭，此種型式接頭為國內鋼骨工程常見之梁柱接頭，國外多採用 H 型柱，故有關本計劃之研究情況主要參考國內研究為主。目前所蒐集的國內文獻資料如下：

1. 林克強、莊勝智、張福全、張柏彥 (2008)，「台灣典型鋼梁與箱型柱採梁翼切削或梁翼加蓋板抗彎接頭之破壞模式」，第五屆海峽兩岸及香港鋼結構技術交流會。
2. Ker-Chun Lin and Sheng-Jhih Jhang, “ Seismic Behaviors and Design Method on Steel Beam-to-Box Column Connections with Cover Plate,” *Structural Engineering*, Vol 25, No.2, pp.75-92, 2010 (in Chinese)
3. Tsai K. C., and Lin, K. C., “Effect of flange stiffeners on seismic beam-to-box column connections,” *Report No. NTU/CEER R81-01*, Center for Earthquake Engineering Research, National Taiwan University, February 1992, Project No.: NSC-81-0414-p-002-10-B
4. Cheng-Chih CHEN, Chien-Lin LAI, and Ker-Chun LIN (2009), “FINITE ELEMENT ANALYSIS OF ELECTRO-SLAG WELDING FOR DIAPHRAGMS IN STEEL BOX COLUMN,” The Eleventh Taiwan-Korea-Japan Joint Seminar on Earthquake Engineering for Building Structures SEEBUS 2009, Kyoto, Japan, December 3-5, 2009.
5. 張惠雲、劉琨泰、陳政宇、林克強 (2010)「鋼電熱熔渣銲件微觀結構研究」，中華民國力學學會第三十四屆全國力學會議。
6. 梁宇宸、陳正誠、蔡顯榮，「受高入熱量 ESW 銲接下箱型鋼柱材質之影響」，中華民國第九屆結構工程研討會，國賓大飯店，高雄，2008 年 8 月 22~24 日。
7. Architectural Institute of Japan (AIJ). (2006). Recommendation for Design of Connections in Steel Structures, AIJ, Tokyo, Japan. pp. 79-86 (in Japanese)

以下概述本研究蒐集之文獻資料與研究成果：

文獻[1,2,3]針對國內實際工程所採用之鋼骨箱型柱抗彎梁柱接頭進行耐震性能研究，共 22 組實尺寸梁柱接頭試體之試驗結果發現，柱內橫隔板與柱板接合之電熔渣銲道，其接合之強度與韌性能力明顯較多道熔填之 FCAW 或 SMAW 全滲透銲道不可靠，常發生不被預期的脆性破壞機率極高，經統計破壞機率約為 25~40% 之間。探討破壞原因發現，製作偏斜的電熔渣銲被研判為此梁柱接頭試體造成破壞的主要原因，同時電熔渣銲的高入熱量亦對此破壞造成相當大的影響。由銲道檢測程序也顯示，所有試體其電熔渣銲均經超音波檢測合格後，再進行梁構件接合，從電熔渣銲破壞之部分剖面巨觀試片發現，電熔渣銲道仍有熔透瑕疵現象，此顯示超音波檢測標準仍有改進空間。

文獻[4]對於文獻[1]之電熔渣銲破壞現象，利用有限元素軟體，對電熔渣銲幾何位置與形狀等參數，進行相關解析研究，並利用尖端開口位移、應力三軸度與破裂指數等三指標評估其破壞潛勢，研究成果顯示，當電熔渣銲與內橫隔板偏移顯著時，尖端開口位移與應力三軸度指標明顯提升，有發生破壞之趨勢。

文獻[5]利用文獻[1]未試驗之電熔渣銲與柱板接合熱影響區試片進行硬度與衝擊強度試驗，材質為 A572GR50，結果顯示，其電熔渣銲之熱影響區有硬度增大，衝擊強度值有顯著降低之現象，此顯示該熱影響區有脆化現象發生。

文獻[6]中亦針對 A992 與 SN490B 中厚板及厚板之鋼材進行實尺寸箱型柱中橫隔板之電熔渣銲銲接，並針對柱板厚度方向進行衝擊試驗，其試驗結果顯示 32mm 厚柱板中央材質之衝擊強度值較原母材低，40mm 及 50mm 厚之柱板則反之。

文獻[7]為日本「構造接合部設計指針」，其中提到電熔渣銲之入熱量(51500 J/mm)較大於其他常見的銲接(以 CO₂ 半自動銲為例：700~1600 J/mm)，其冷卻時間較長導致其熱影響區的韌性變得較差已是日本工業界認定之事實。

第三章 ESW 元件試體有限元素模型分析

國內鋼結構建築大多採用箱型柱做為柱構件，近幾年針對有關鋼梁接箱型柱電熔渣銲道所對應柱板之抗彎梁柱接頭試驗之統計結果顯示，在試驗中當接頭尚未發展明顯非線性變形前，即常在電熔渣銲道或其熱影響區附近發生脆性破壞，其破壞機率約為 25%~40%，而從破壞試體之巨觀試片發現製作偏斜的電熔渣銲被研判為此梁柱接頭試體造成破壞的主要原因，同時電熔渣銲的高入熱量亦對柱板材質造成相當大的影響，故本研究主要針對電熔渣銲熔透半徑、電熔渣銲位置之偏差與柱板外梁翼板位置之偏差等鋼構施工可能發生之問題進行有限元素分析與研究，期望藉由本研究可了解該施工偏差對整體梁柱接頭之影響。

第一節 有限元素分析模型介紹

本研究使用之 ESW 元件分析模型如圖 3-1 所示，主要包含箱型柱、梁翼板、電熔渣銲道、橫隔板與橫隔板上下用以包圍電熔渣銲道之背襯板，其中梁翼板採用開槽全滲透銲接與箱型柱電熔渣銲對應之柱板相接，而於模擬梁翼板全滲透開槽全滲透銲接處忽略背襯板。因本分析模型為上下對稱之模型，故以箱型柱寬度方向之中心線取半分析，以節省分析計算之時間。本分析模型於箱型柱之柱板與內橫隔板處以鉸接束制，於上面梁翼板端部施加拉力，以研究柱板與電熔渣銲接合熱影響區與梁翼板之應力分布情況。而分析模型之梁柱尺寸主要以目前國內鋼構業較常使用之尺寸為主，箱型柱尺寸為 BOX 750x750x28，梁翼寬度為 300mm，梁翼板厚度為 25mm，內橫隔板厚度亦為 25mm。

本分析模型假設施加最大拉力為 $\alpha F_y A_f$ ，其中 F_y 為鋼材標稱降伏強度， A_f 為梁翼板橫斷面面積。

$$\text{而 } \alpha = \frac{\beta}{Z_f/Z} \times SH$$

其中， β 為梁翼傳入柱內之彎矩約佔總彎矩之比例，該值假設為 0.95。

Z_f/Z 為梁翼塑性斷面模數與梁全斷面塑性斷面模數之比值，以實尺寸梁柱接

頭試驗之實際梁尺寸 BH 800x300x14x25 計算， Z_f/Z 為 0.75。

SH 為應變硬化係數，一般 SN490b 鋼材之應變硬化假設為 1.25。

故 α 計算出約為 1.58，由此可得到施加最大拉力約為 418t。

電熔渣銲之銲接細節主要參考電熔渣銲之巨觀切片，如照片 3-1 所示，該銲道熔入柱翼板(Column)、橫隔板(Diaphragm)與上下兩片側墊板(Backing)，側墊板與柱翼板及橫隔板假設有 0.2mm 之初始間隙，於本分析模型中另增加電熔渣銲之熱影響區，該熱影響區主要區域在柱翼板上，其電熔渣銲之接合細節如圖 3-2 所示。

鋼母材與銲道之材料模型目前均模擬為雙線性且為均質材料，於線性階段採用等向(Isotropic)材料模型，彈性模數設定為 200,000 MPa，波松比 (Poisson Ratio) 為 0.3。塑性階段採用走動(Kinematic)材料模型，材料之降伏強度暫以標稱強度設定之，如圖 3-3 所示。本分析模型不考慮實際試體製造銲接時所產生之熱影響與殘留應力，亦不考慮鋼材開裂破壞之行為。待鋼材、電熔渣銲銲道、熱影響區與梁翼全滲透銲銲道之相關材料試驗完成後，將再修正本分析之材料模型，以使分析模型之行為更加接近真實結構體。

另外，將該 ESW 分析模型放入梁柱接頭分析模型中，用來模擬梁柱接頭真實發生 ESW 破壞時(試體編號 RC13，其梁柱相關尺寸詳見文獻[1,2])，實際柱板與電熔渣銲接合熱影響區與梁翼板之應力分布狀況，該模型之鋼材材料模型採用真實鋼材拉力試驗之結果，如表一所示，其餘材料模型則與前述相同。於 RC13 梁柱接頭試體中，ESW 偏差情況如照片二所示。

第二節 有限元素分析模型參數研究

本研究使用有限元素分析軟體 ABAQUS 進行模擬與分析，共有三類參數進行研究分析，包含 ESW 熔透直徑大小、ESW 垂直偏心與梁翼板偏心等參數，探討該參數對柱板與電熔渣銲接合熱影響區與梁翼板之應力分布狀況之影響，目前規劃的詳細研究參數為(1)變化電熔渣銲銲道直徑大小，如圖 3-4 所示，其電熔渣銲銲道直徑大小

為 38mm(D38)、41mm(D41)與 44mm(D44)三種大小，(2)變化電熔渣銲垂直偏心位置，如圖 3-5 所示，其垂直偏心位置往上為正，往下為負，共分為+8mm(EV+8)、+5mm(EV+5)、+3mm(EV+3)、0mm(CC)、-3mm(EV-3)、-5mm(EV-5)與-8mm(EV-8)七種參數，(3)變化梁翼板之位置，讓梁翼板相對於箱型柱內橫隔板有一垂直往上偏心距離，分別為 0mm(BFCC)、+8mm(BFEC8)、+16mm(BFEC16)與+25mm(BFEC25)四種參數，如圖 3-6 所示，而整體有限元素分析的組數如表 3-2 所示。

第三節 有限元素模型分析結果

本研究主要採用累積塑性應變(Equivalent Plastic Strain, 以下簡稱 PEEQ)與裂縫尖端開口位移(以下簡稱 Opening)為本研究電熔渣銲力學行為之指標，其中 PEEQ 為取熱影響區平行梁翼寬度方向之最大值，而裂縫尖端開口位移則是取側墊板及柱翼板間之縫隙與電熔渣銲之兩交點相對位移，因於 ESW 上下皆有側墊板與柱翼板之縫隙，故此兩種參考指標皆分為上部與下部兩種。有限元素分析結果之比較如圖 3-7 至圖 3-12 所示，其中圖 3-7 至圖 3-9 主要探討梁翼板往上偏心對 PEEQ 與 Opening 之影響，該分析結果顯示隨著梁翼往上偏心愈大，其上部 PEEQ 與 Opening 之反應愈大，下部 Opening 之反應則愈小，而下部 PEEQ 則幾乎接近 0。圖 3-10 至圖 3-12 則主要為變化 ESW 垂直偏心量對 PEEQ 與 Opening 之影響，而 PEEQ 與 Opening 指標比較之基準點為取鋼梁發展至彎矩 M_p 換算得到之拉力(3502 kN)，由這些分析比較圖可知 ESW 往下偏心量愈大時，上部 Opening 反應愈大、下部 Opening 反應愈小，當 ESW 往上偏心量愈大時，上下部 Opening 反應則反之，而對於 PEEQ 反應來說，隨著 ESW 往下偏心量愈大，上部 PEEQ 有愈大之趨勢，而 ESW 往上偏心量愈大，上部 PEEQ 則有愈小之趨勢，而下部 PEEQ 整體反應幾乎接近 0。尤其需特別注意當 ESW 垂直偏心位置與梁翼偏心位置為反方向時，其 PEEQ 與 Opening 之指標明顯提升。圖 3-13 至圖 3-15 為變化 ESW 銲道直徑大小對 PEEQ 與 Opening 指標之影響，由分析結果顯示當 ESW 銲道直徑愈大時，其 PEEQ 與 Opening 指標有下降之趨勢。

另於實尺寸梁柱接頭分析結果顯示當試體於 0.01 弧度迴圈發生電熔渣銲銲道破壞

時，其 PEEQ 指標約為 0.01，如圖 3-16 所示，該值可做為電熔渣鉚道開裂破壞之指標。後續將再針對不同實尺寸梁柱接頭但同樣發生電熔渣鉚道破壞之試體進行分析，以驗證 PEEQ 為 0.01 時，作為電熔渣鉚道開裂破壞之指標是否適當。

表 3-1 試體 RC13 實際材料強度表

Spec.	Location	F_y (MPa)	F_{yf} / F_{yw}	F_u (MPa)	F_{uf} / F_{uw}	Elongation (%)*	$YR=F_u / F_y$	YR_f / YR_w
RC13	Flange	387.50	0.90	513.55	0.95	28.50	1.33	1.06
	Web	430.66		540.53		23.93	1.26	

* Gauge Length = 200 mm

(資料來源：林克強等，2010)

表 3-2 有限元素分析組數

ESW 熔透直徑 (mm)	ESW 垂直偏移量 (mm)	梁翼往上偏移量 (mm)	分析組數
38	-5、-3、0、+3、+5	0、8、16、25	共20組
41	-5、-3、0、+3、+5	0、8、16、25	共20組
44	-8、-5、-3、0、+3、+5、+8	0、8、16、25	共28組

(資料來源：本研究製作)

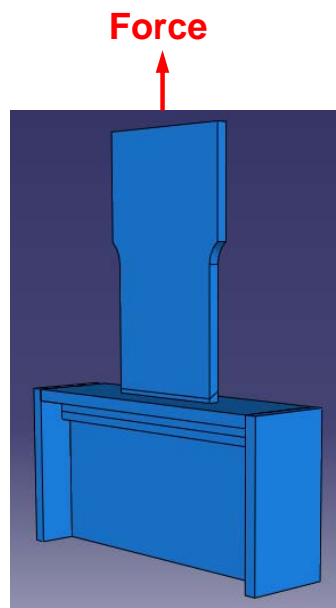


圖 3-1 有限元素分析模型

(資料來源：本研究製作)

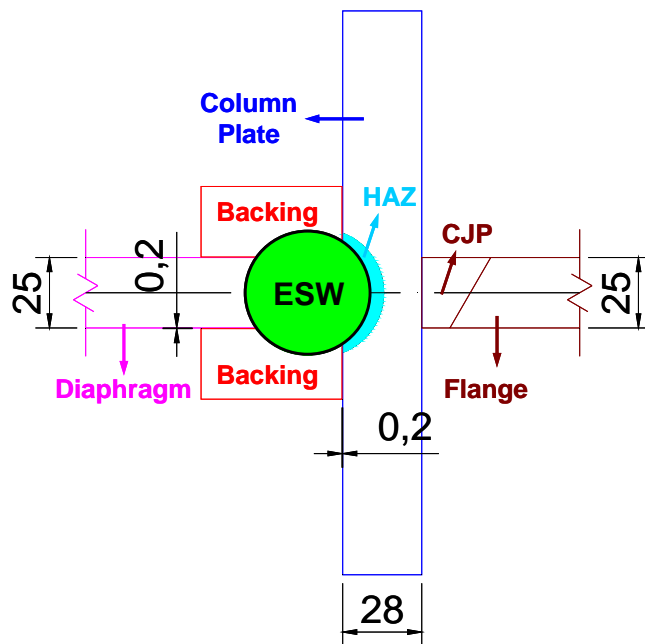


圖 3-2 電熔渣銲接合細節示意圖

(資料來源：本研究製作)

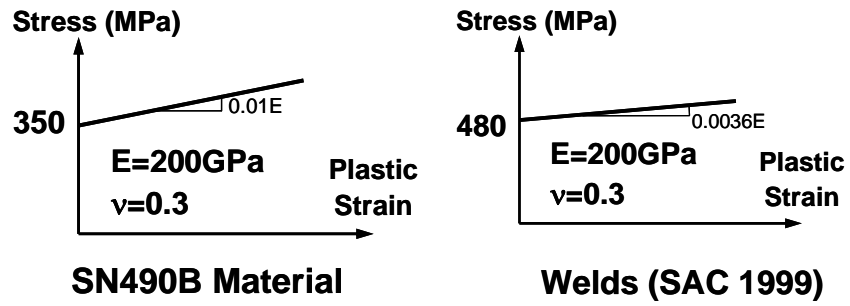


圖 3-3 有限元素分析使用之材料模型

(資料來源：本研究製作)

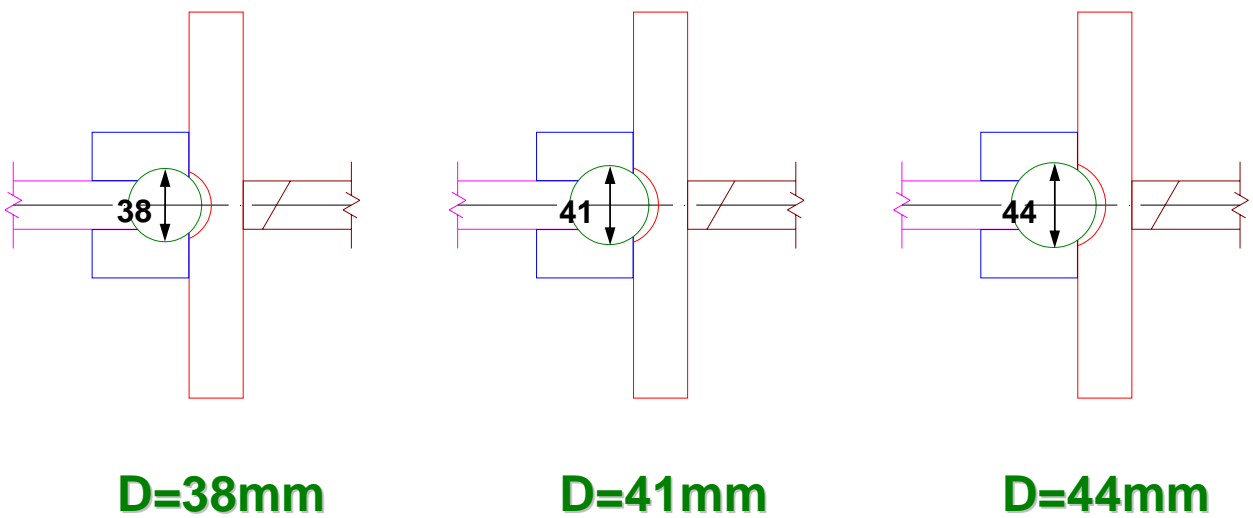


圖 3-4 ESW 鐸道直徑大小參數

(資料來源：本研究製作)

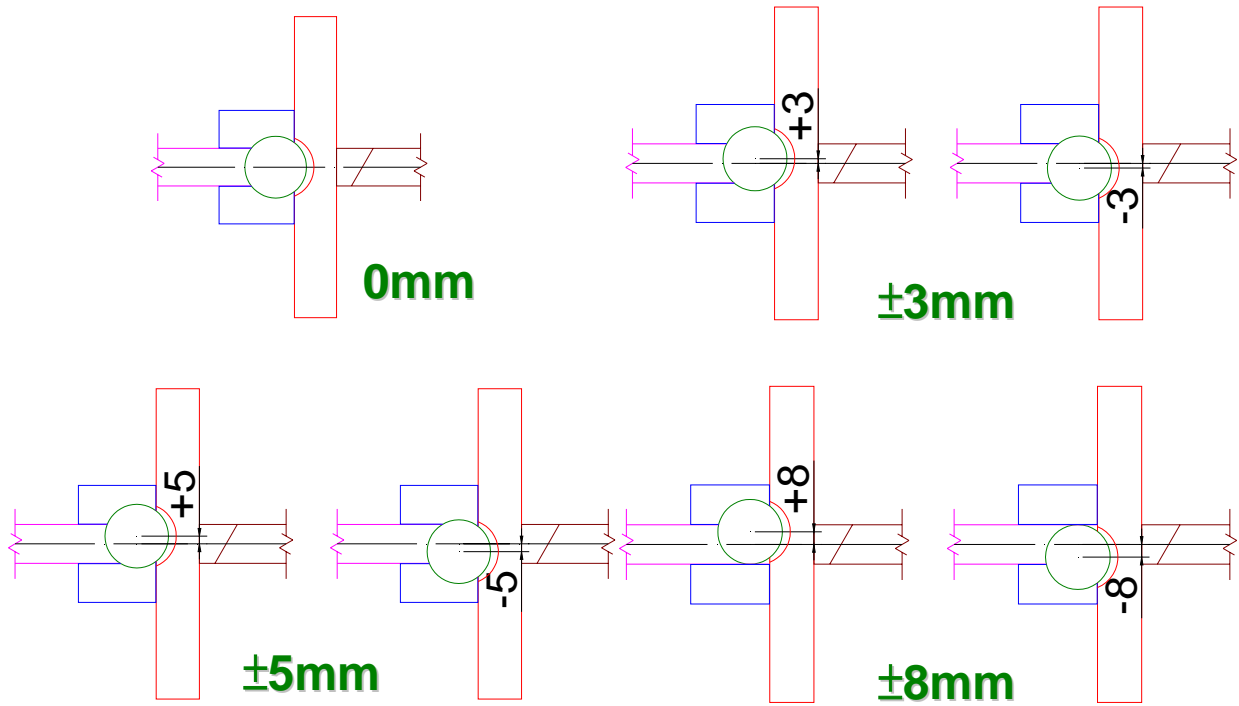


圖 3-5 ESW 垂直偏心位置參數

(資料來源：本研究製作)

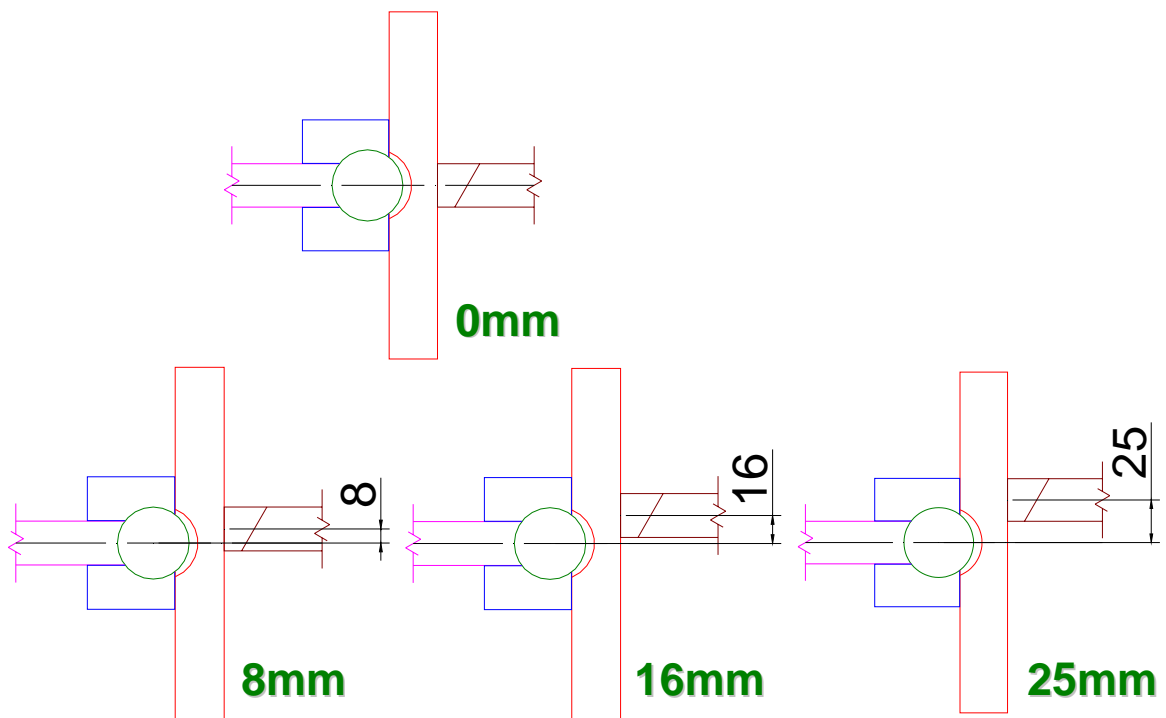


圖 3-6 梁翼板往上偏心位置參數

(資料來源：本研究製作)

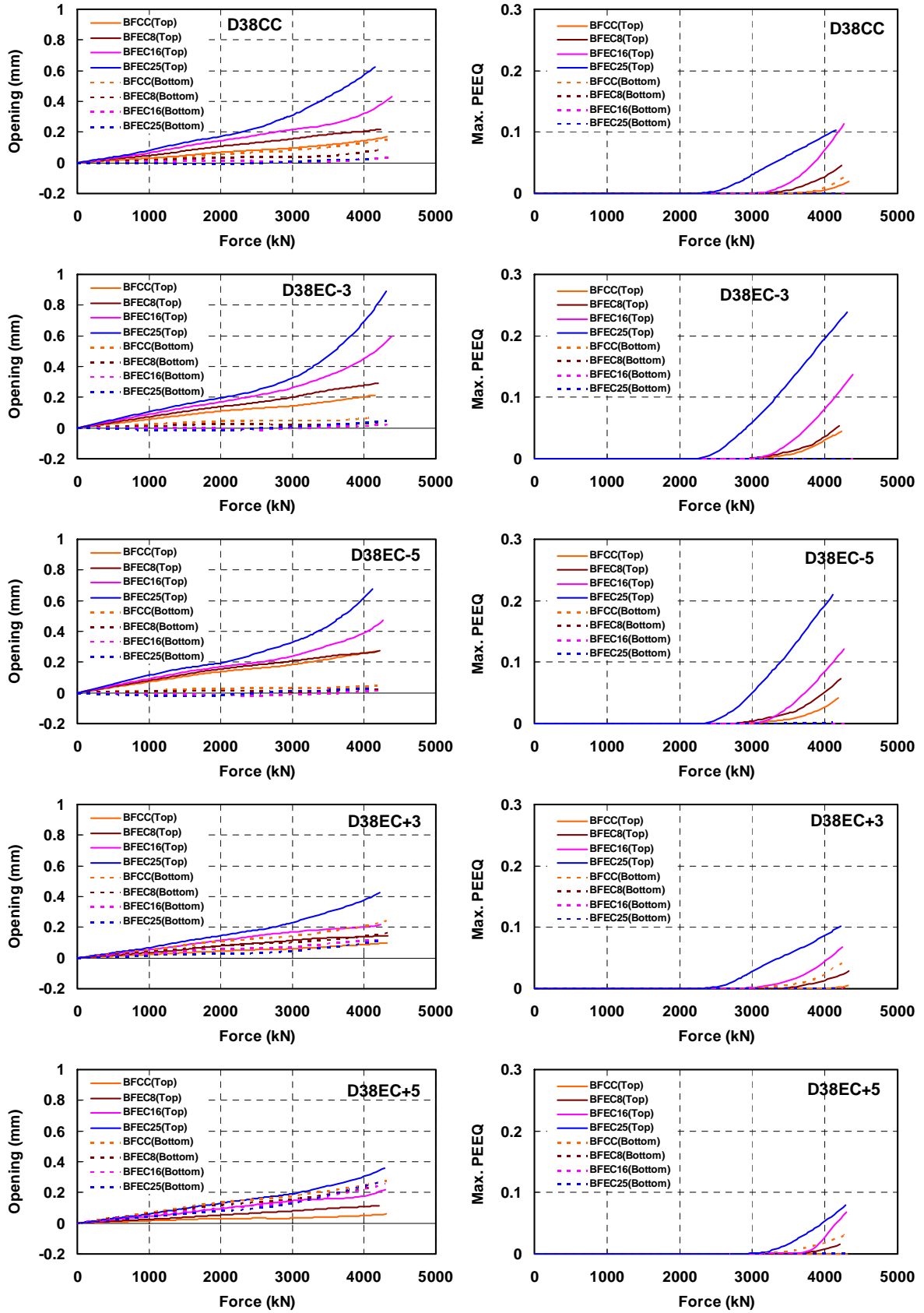


圖 3-7 ESW 熔透直徑為 38mm 之分析結果比較圖

(資料來源：本研究製作)

鋼骨梁柱接頭橫隔板耐震性能研究

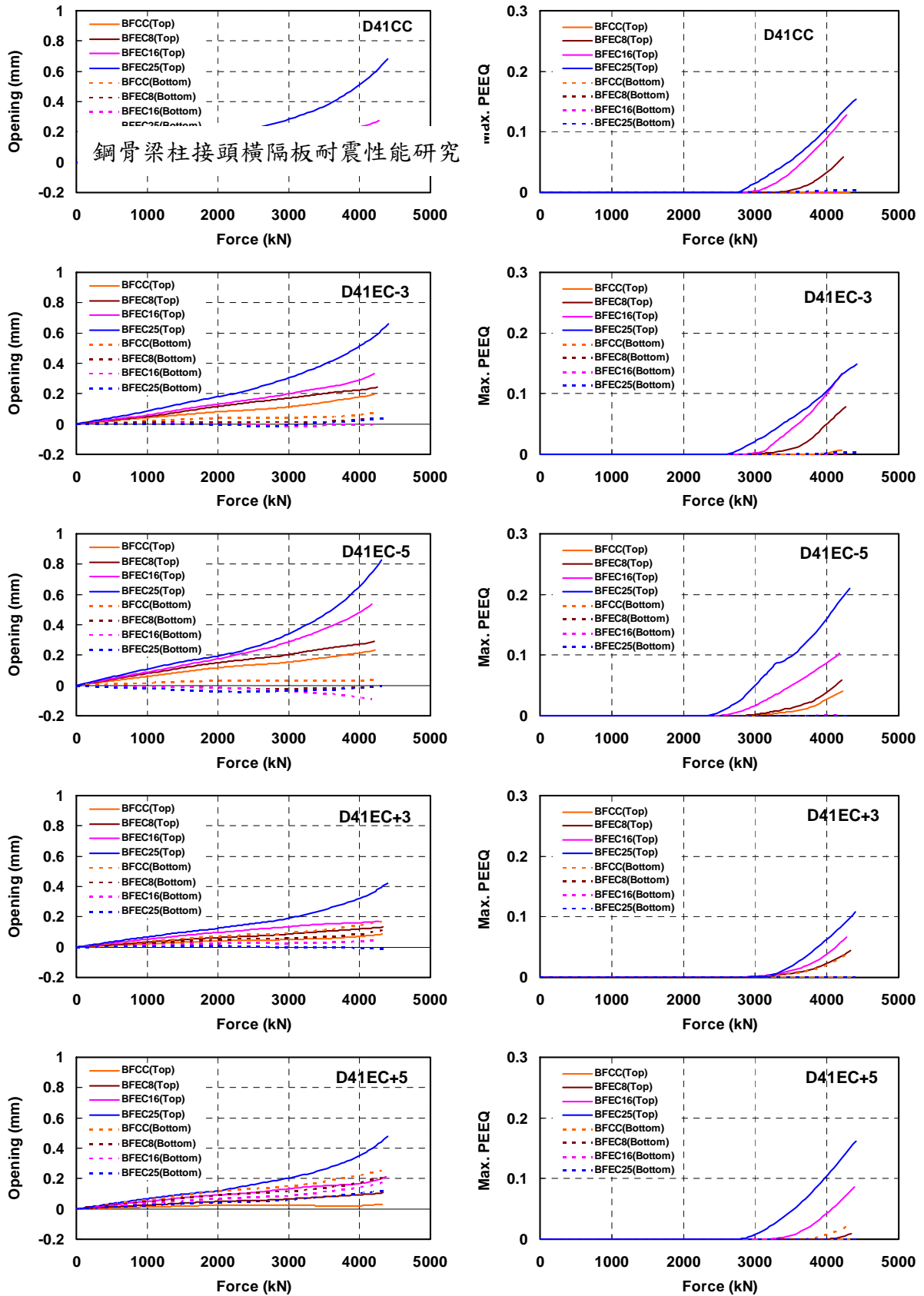


圖 3-8 ESW 熔透直徑為 41mm 之分析結果比較圖

(資料來源：本研究製作)

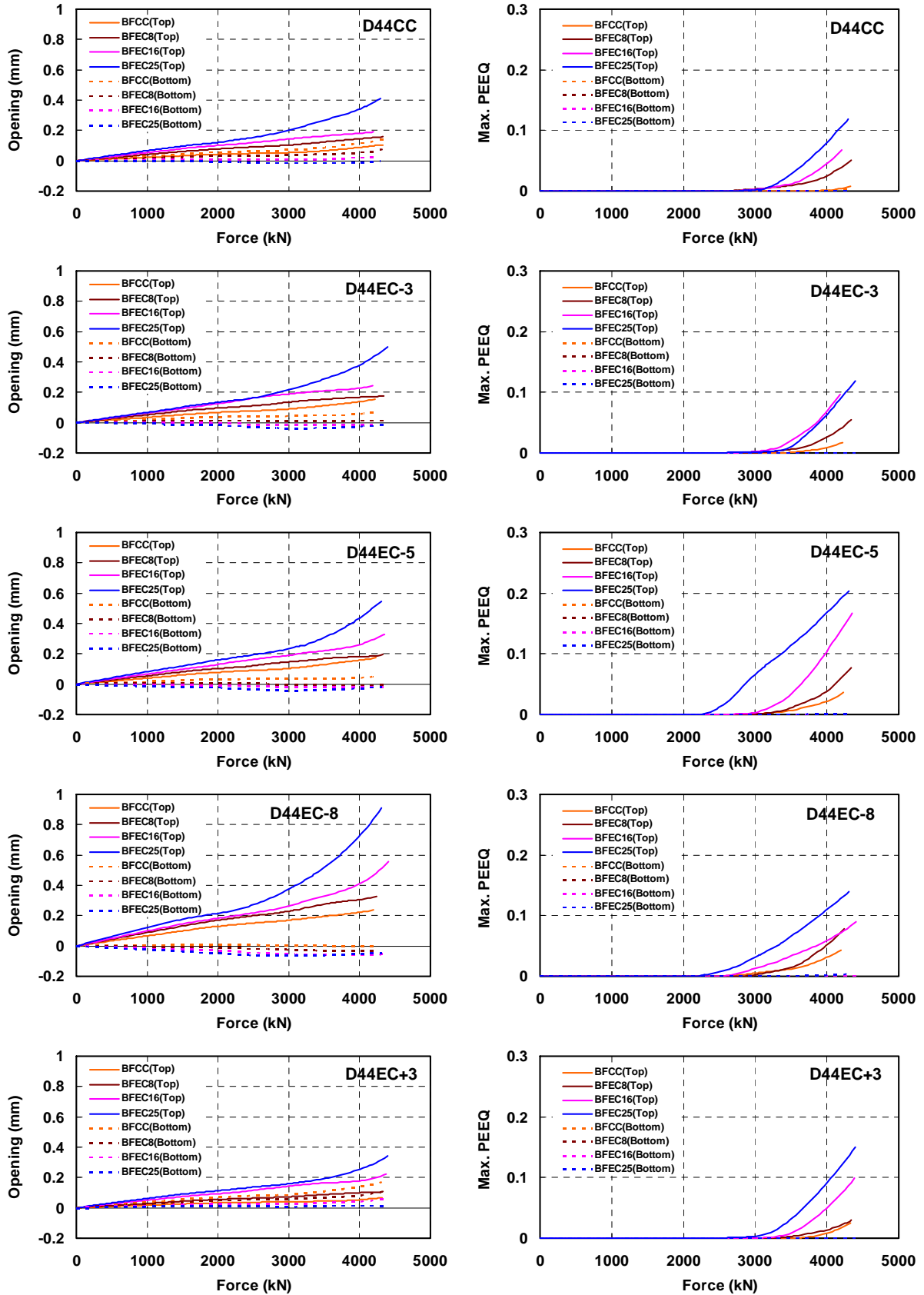


圖 3-9 ESW 熔透直徑為 44mm 之分析結果比較圖

(資料來源：本研究製作)

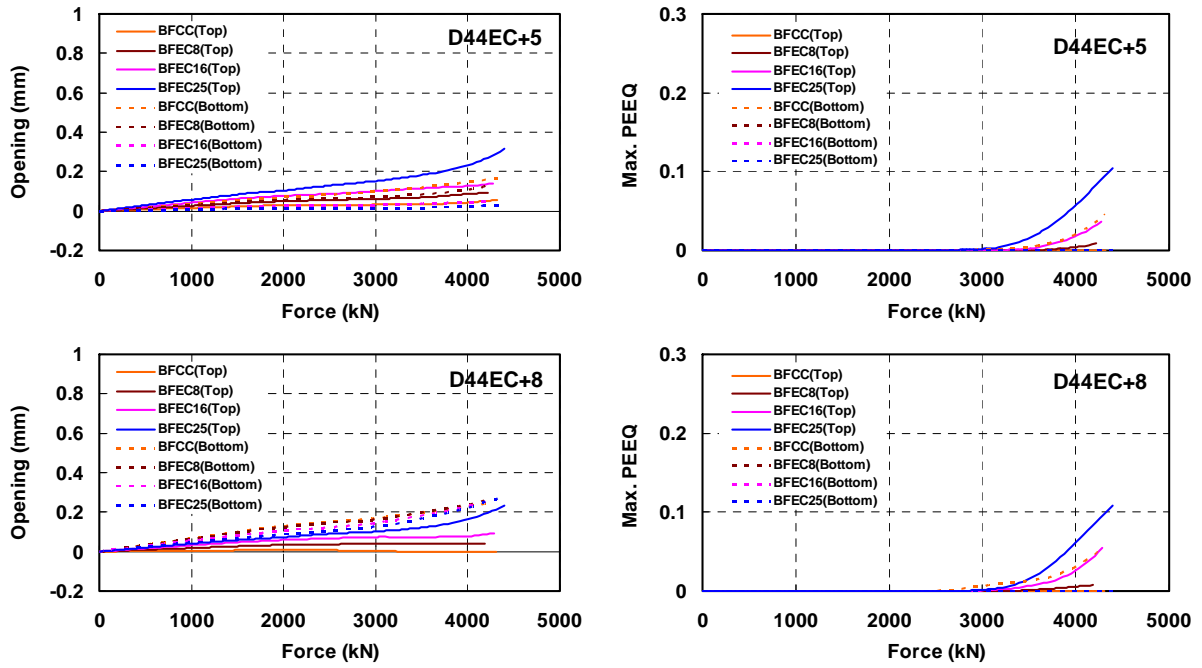


圖 3-9 ESW 熔透直徑為 44mm 之分析結果比較圖(續)

(資料來源：本研究製作)

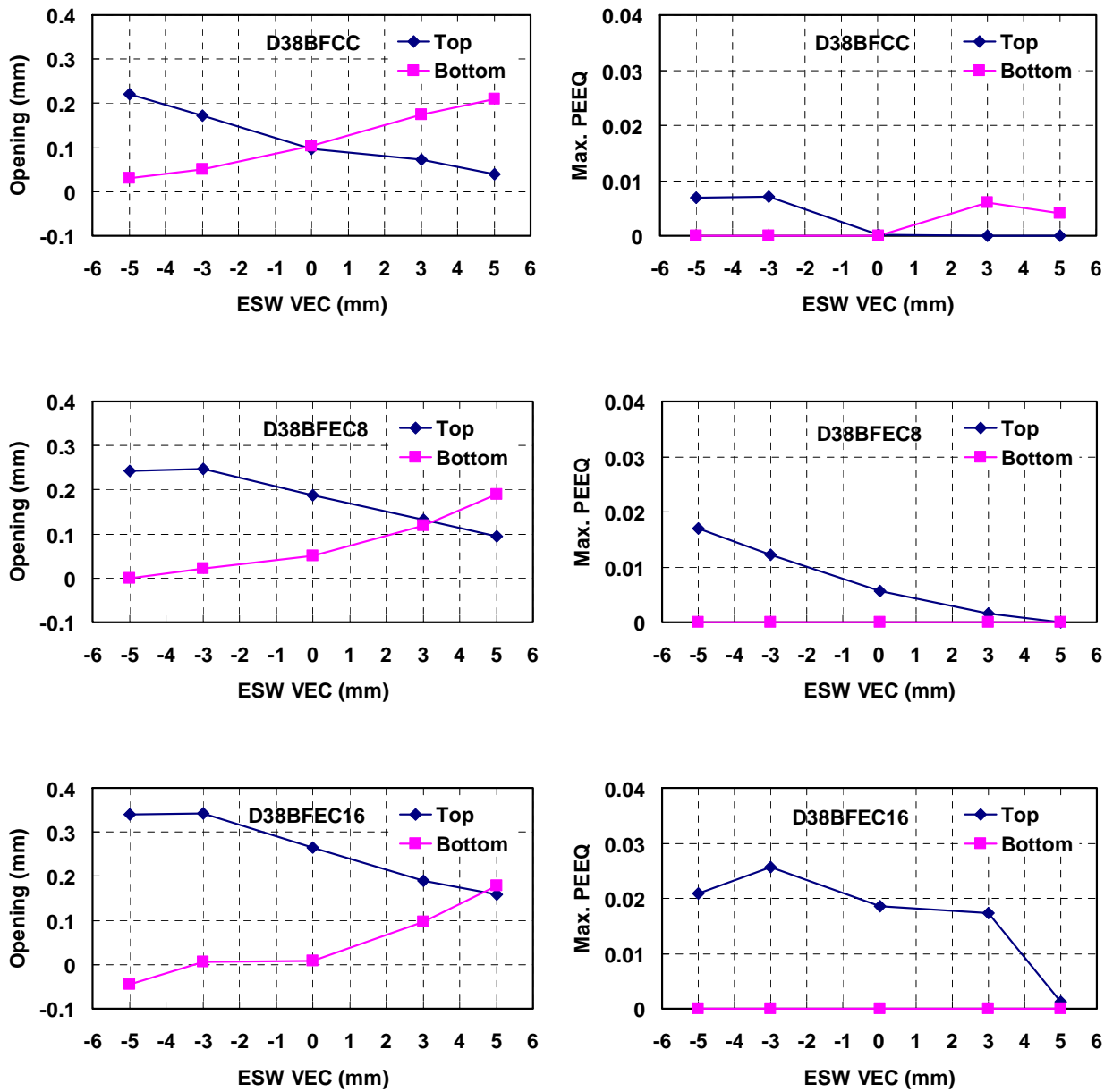


圖 3-10 ESW 熔透直徑為 38mm 時，採用不同垂直偏心率之分析結果比較圖
(資料來源：本研究製作)

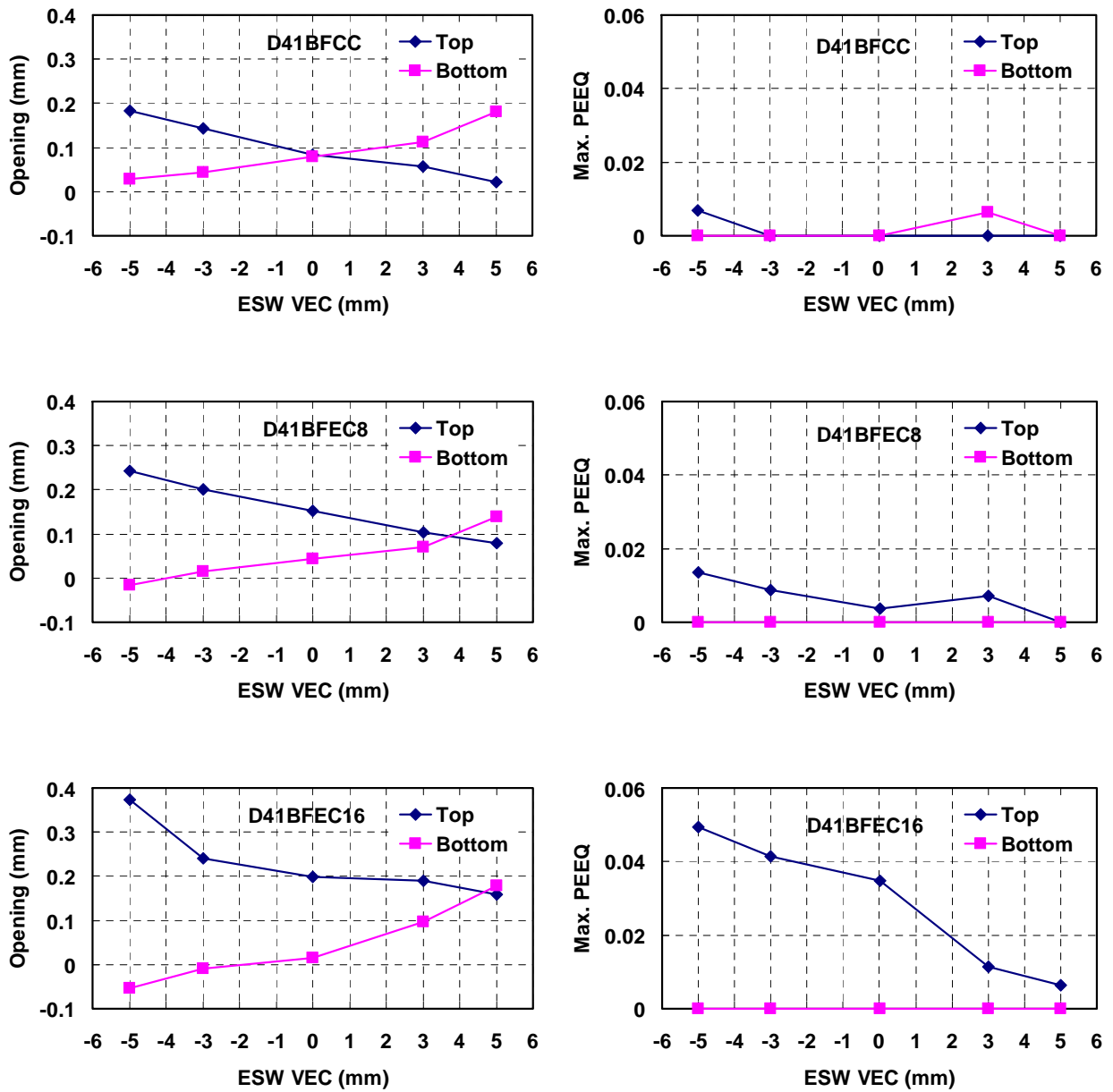


圖 3-11 ESW 熔透直徑為 41mm 時，採用不同垂直偏心率之分析結果比較圖
(資料來源：本研究製作)

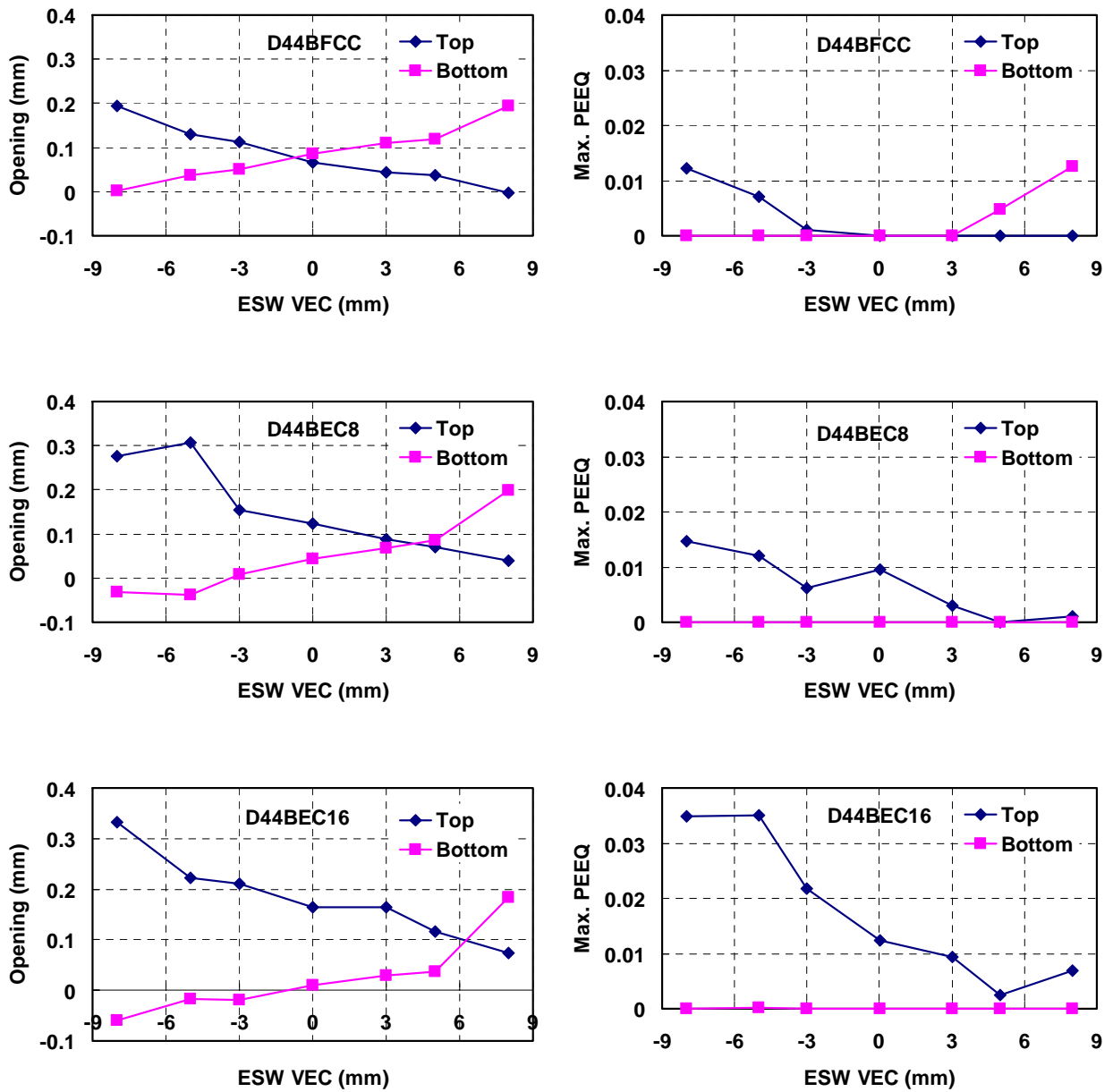


圖 3-12 ESW 熔透直徑為 44mm 時，採用不同垂直偏心率之分析結果比較圖
(資料來源：本研究製作)

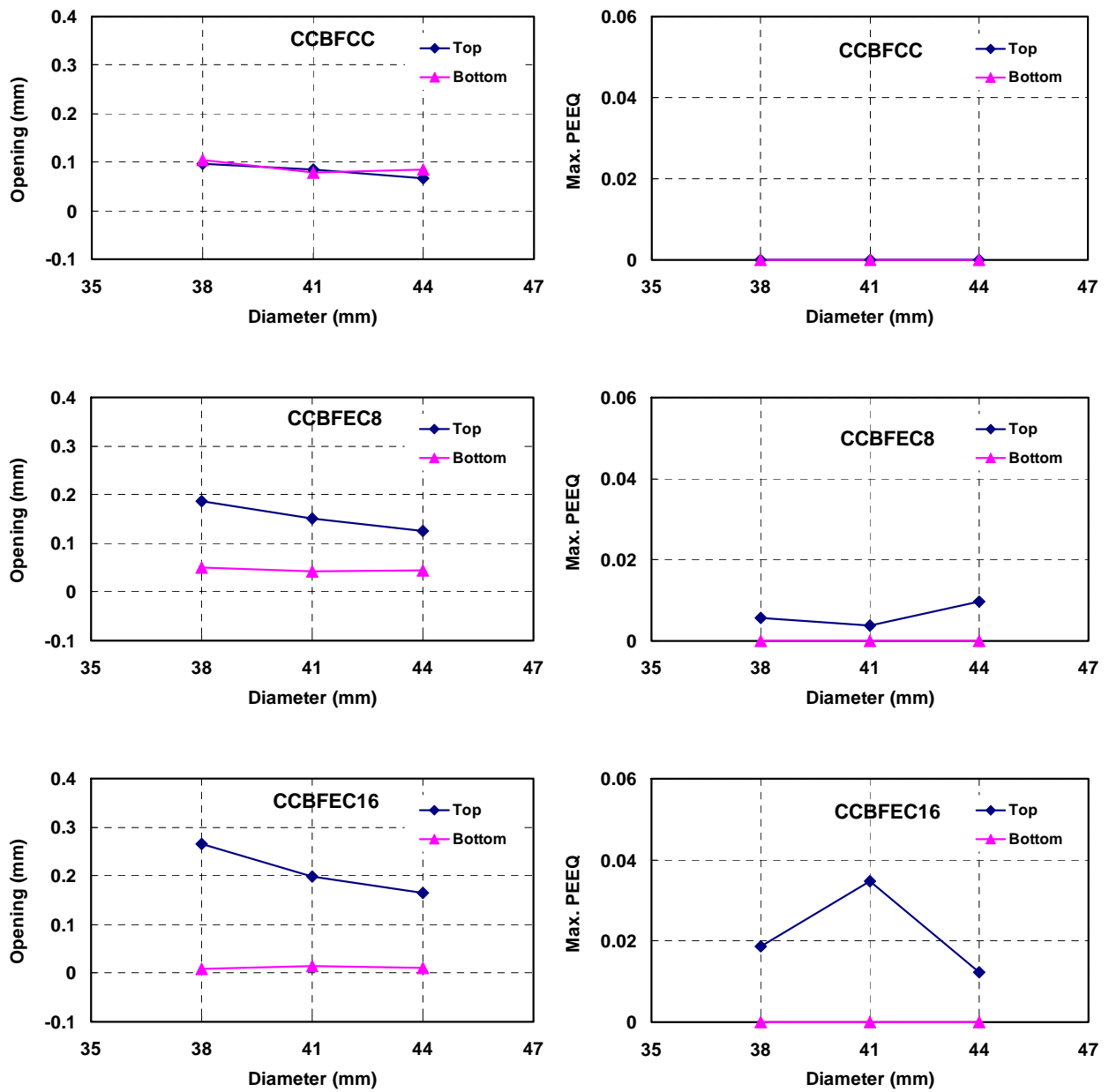


圖 3-13 ESW 垂直偏差為 0 時，採用不同 ESW 銲道直徑大小之分析結果比較圖

(資料來源：本研究製作)

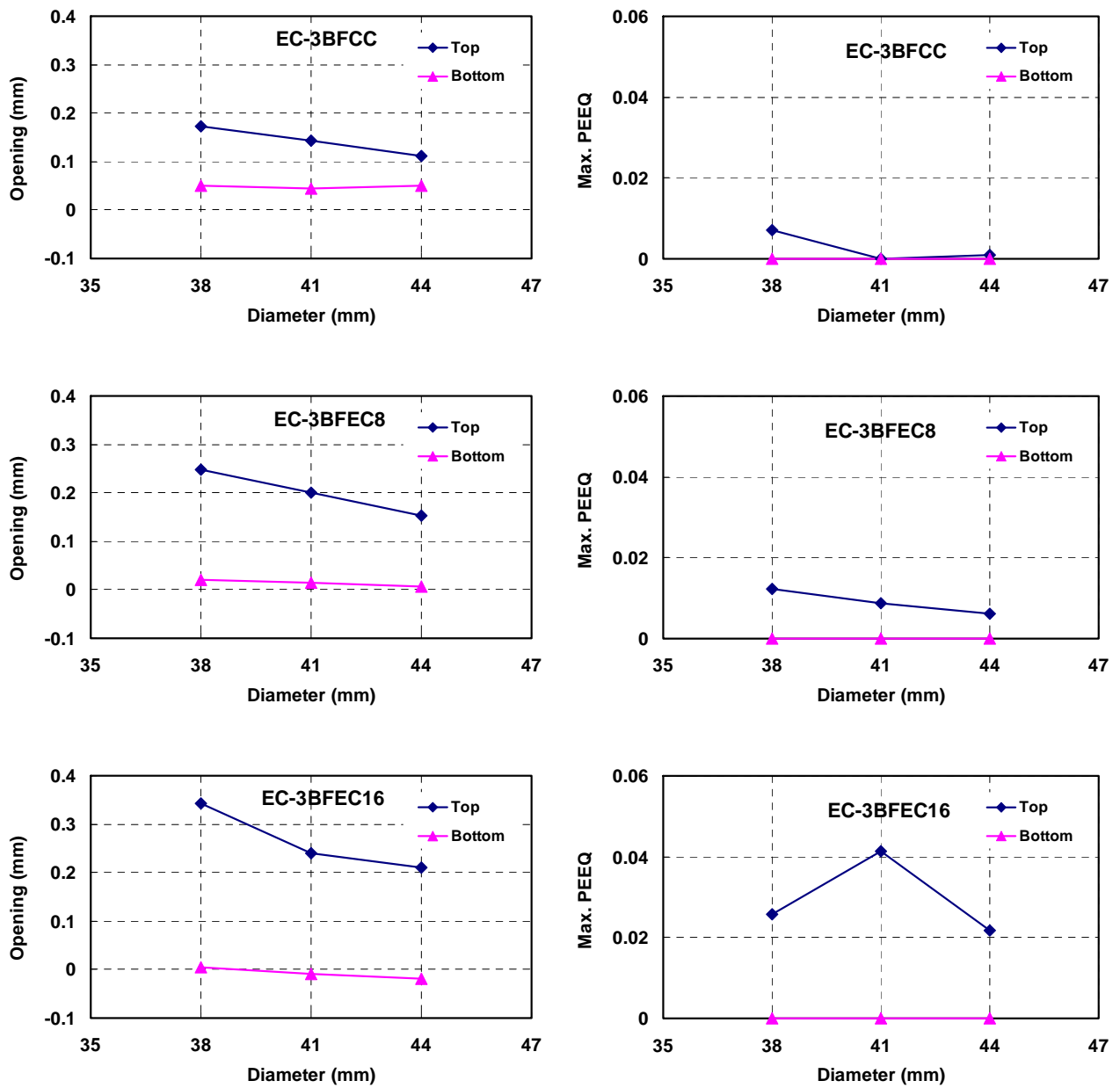


圖 3-14 ESW 垂直偏差為-3 時，採用不同 ESW 鐸道直徑大小之分析結果比較圖
(資料來源：本研究製作)

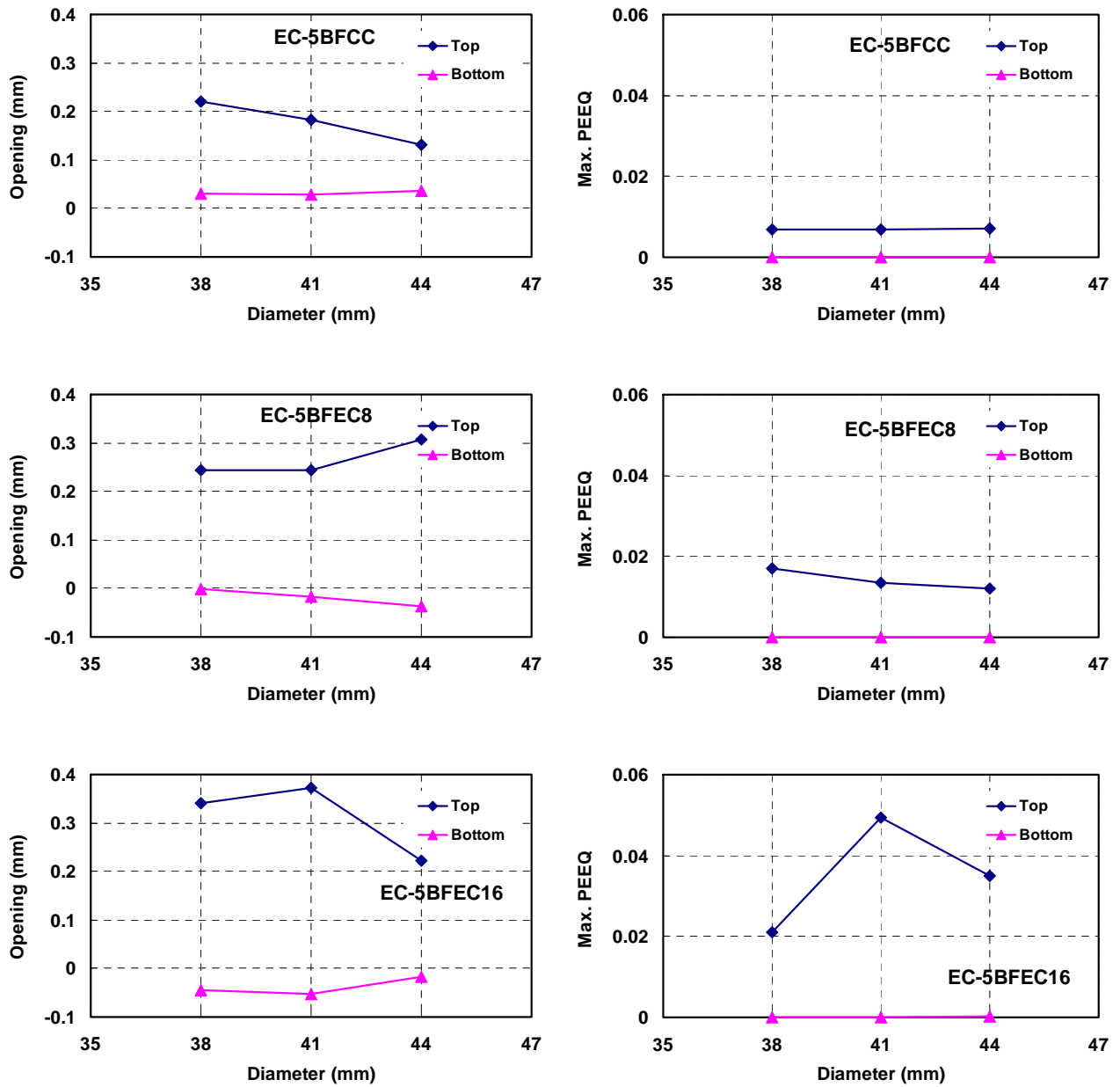


圖 3-15 ESW 垂直偏差為-5 時，採用不同 ESW 鐸道直徑大小之分析結果比較圖

(資料來源：本研究製作)

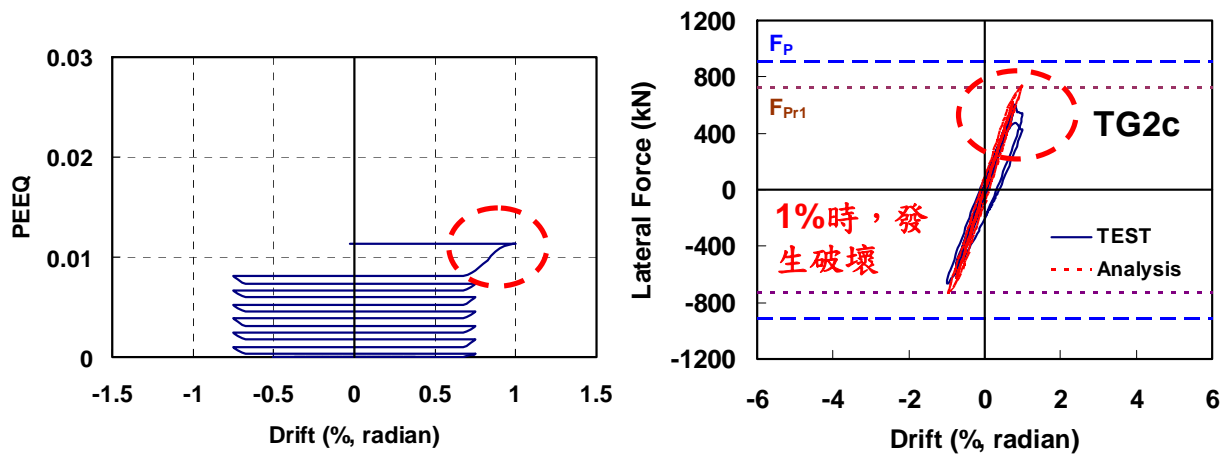
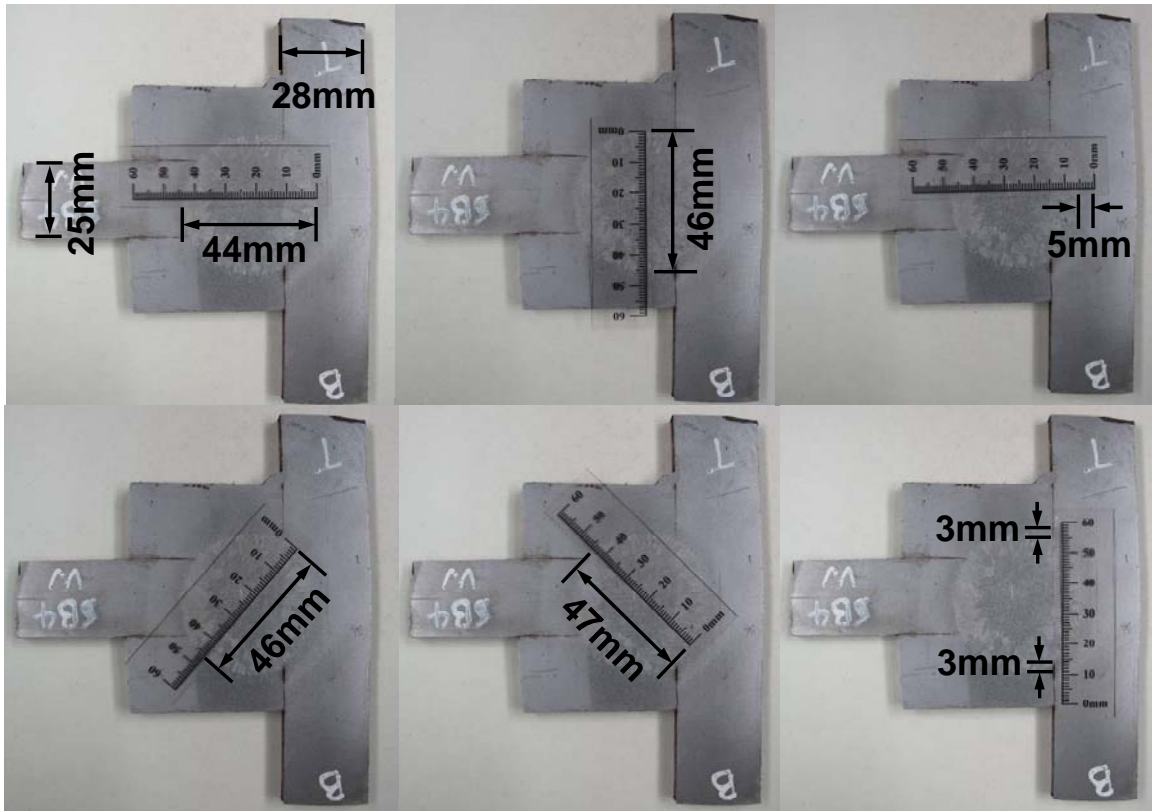


圖 3-16 梁柱接頭試體發生電熔渣銲銲道破壞之 PEEQ 指標

(資料來源：本研究製作)



照片 3-1 梁柱接頭試體發生電熔渣銲銲道破壞之 PEEQ 指標

(資料來源：本研究製作)

第四章 橫隔板與箱型柱電熱熔渣銲接合試驗

第一節 試體設計

由前章節有限元素分析之結果可知電熔渣銲(ESW)之耐震行為，受 ESW 垂直偏心率、外側梁翼板垂直偏心率以及 ESW 銲道直徑大小等參數影響，綜合分析結果以及考慮試體製作可行性，本研究以 ESW 銲道垂直偏心率、梁翼板垂直偏心率兩者為控制參數，變化各種組合並配合有限元素分析設計出 8 組試體，各試體之設計參數詳見表 4-1，其試體編號第一個英文字母代表 ESW 偏心率與否，第二個英文字母代表梁翼板偏心率與否，C 代表無偏心率，E 代表有偏心率，而第三個數字則代表梁翼板垂直偏心率，於該表中 ESW 之偏心率均未標示數值，只以+代表有偏心率，0 代表無偏心率，這是由於現階段在試體製作時，對於 ESW 之偏心率僅能控制偏心率與否，無法得到精確偏心率之數值。試體採用之原始箱型柱斷面為 750x750x28mm，橫隔板厚度為 25mm，元件試體高度則取 300mm(橫隔板置於中心)，在此箱型柱兩側對應於橫隔板之位置均銲上 25mm 之板片(模擬梁翼板)，板片端部另加轉接板與加勁板，以利與試驗機台之接合，試體標準圖如圖 4-1 所示。ESW 元件試驗試體翼板與柱板之實際材料強度詳見表 4-2。本研究於此元件試驗中，觀察 ESW 試體在各種偏心率參數組合下之受力行為與破壞模式，並與分析結果進行比對，依此對分析模型進行修正，以期能得到有效之模擬方法。

第二節 試體製造與檢測

ESW 元件試體之製作由春源鋼鐵工業股份有限公司負責，於桃園龍潭鋼構廠進行試體製造，俟試體製造完成後運送至國家地震工程研究中心大型力學實驗室進行試驗。試體實際製造組裝步驟與施工情形如下所述：

箱型柱之製造與檢測

箱型柱內橫隔板四面皆採用電熔渣銲與柱板相接，當四面柱板與八片橫隔板組立完成後，開始進行電熔渣銲之工作，其柱板與橫隔板接合細節與方向如圖 4-2 所示，

其中 R 與 L 側為同時施作電熔渣銲道，待其電熔渣銲工作完成後，針對 R、L 側進行超音波垂直探測，將檢測電熔渣銲是否有瑕疵並量測其熔透範圍，其採用之探頭大小分為 10mm 與 20mm 兩種，以增加超音波檢測之準確性，該熔透範圍如圖 4-3 所示，其中第一片與第八片橫隔板超音波檢測之結果為沿著柱深方向之電熔渣銲皆不合格，故於圖 4-3 中沒有顯示第一片與第八片之超音波檢測結果。完成上述第一階段之電熔渣銲銲接後，於 F 側與 N 側進行潛弧銲銲接工作，並針對該潛弧銲銲道進行超音波檢測，以確認其銲道品質。接著則將箱型柱延柱高度方向之軸心旋轉 90°，繼續對 N 與 F 側進行電熔渣銲之銲接工作，同樣必須針對電熔渣銲銲道進行超音波檢測工作，此時檢測只採用 10mm 探頭記錄其熔透範圍，該熔透範圍如圖 4-4 所示。其中 R 與 L 側於進行電熔渣銲銲接時，均將電熔渣銲之導管偏心 3.5mm，而 N 與 F 側則是將導管置於由橫隔板、柱板與兩片背襯板所包圍空間之正中央進行電熔渣銲銲接。

梁翼板與箱型柱之全滲透銲接

當箱型柱完成之後，將其切割成八片高度為 300mm 之箱型柱試體，並依據前述超音波檢測結果於正確柱板位置將梁翼板採全滲透銲接方式與其相接，其八組試體之梁翼位置與方向如圖 4-5 所示。其梁翼板與柱板間之全滲透銲銲道均需進行超音波檢測(UT)，待其檢測合格後，完成所有 ESW 元件試體製造。

第三節 試驗方法

本試驗於國家地震工程研究中心 SHIMADZU 500 噸萬能試驗機進行，於試驗進行前將 ESW 元件試體上下兩端鎖固於可與 500 噸萬能試驗機相接之轉接夾具上，緊接著將試體上下兩端轉接夾具與 500 噸萬能試驗機相接，即可進行試驗，如照片 4-1 所示。其試驗採位移控制，其位移量從 0mm 持續定量增加位移，位移每當增加約 24mm 時，即進行力量的卸載與重新加載，直至試體無法提供正常強度為止。

在量測系統方面，整體之量測計畫如圖 4-6、照片 4-2 與照片 4-3 所示，除了 500 噸萬能試驗機內之位移計與荷重計之外，尚包含日本東京測器研究所(TML)生產之應

變計(型號：YFLA-5-3L)、位移計與影像量測(NDI)所需之測點，其中位移計採用兩種量測範圍之位移計，於梁翼板採用量測範圍較大之外移計(100mm)，而於箱型柱內則採用位移範圍較小之位移計(10mm)。位移計與影像量測主要監控梁翼與箱型柱之伸長量，其中位移計架設於試體之北側，影像量測之測點則黏貼於試體之南側，而應變計主要用於監測梁翼板與柱內橫隔板之局部應變行為。其位移計與應變計之訊號蒐集使用 TML 生產的 THS-1100 資料收集器收集其試驗資料。

第四節 試驗過程

為方便試驗過程之觀察，在實驗開始前，於試體塗上石膏漆，由於石膏為脆性物質，因此當試體發生大變形時將使石膏產生脆裂，故可藉由目視石膏漆剝落的情形，以判斷試體是否發生降伏或局部挫屈的嚴重與否，此外，亦可藉由 500 噸萬能試驗機的施力與外部位移計數值資料初步判斷試體反應。各組試體之試驗過程如下所述：

CC

當試驗進行至位移為 2.7mm 時，試體柱內橫隔板四個角隅點有些微石膏掉漆情況，試體大致仍維持彈性反應，此時由電腦監控顯示器顯示，試體已有輕微的非線性反應，試驗進行至位移為 3.6mm 時，試體之上下翼板端部靠近加勁板有石膏漆掉落，試驗持續進行至位移為 5.5mm 時，翼板切削段開始有些微掉漆情況，後續隨著試驗位移之增加，其試體各部位之石膏漆掉漆情況愈顯著，照片 4-4 至照片 4-6 為試驗位移為 75.8mm 時，試體之各部位掉漆情況，當試驗繼續進行至位移為 111mm 時，於上翼板切削段圓弧處發生斷裂，如照片 4-7 所示，此時因試體無法提供正常強度，故終止試驗。

EC

當試驗進行至位移為 3.6mm 時，試體翼板端部靠近加勁板處有些微掉漆情況，當試驗進行至位移為 5.3mm 時，試體翼板切削段與柱內橫隔板開始發生掉漆情況，且由電腦監控顯示器顯示，試體已有輕微的非線性反應，試驗持續進行至位移為 23.8mm

時，500 噸萬能試驗機開始卸載並重新加載繼續進行試驗，從本次試驗開始，每組試驗當位移每增加約 24mm 時，即進行力量的卸載與重新加載，當試驗進行至位移為 33.2mm 時，試體柱內橫隔板開始發生較明顯掉漆情況，當試驗位移為 47.3mm 時，試體柱內橫隔板中央透氣孔周圍開始產生 45° 斜角掉漆，當試驗進行至位移為 71.9mm 時，試體翼板切削圓弧段有厚度方向內縮情況發生，如照片 4-8 所示，當試驗進行至位移為 83.7mm 時，下翼板西側切削圓弧處有輕微開裂，試體其餘部位之掉漆情況如照片 4-9 至照片 4-11 所示，試驗持續進行至位移為 143.2mm 時，下翼板西側切削段圓弧處發生斷裂，如照片 4-12 所示，此時因試體無法提供正常強度，故終止試驗。

CE+8

當試驗進行至位移為 2mm 時，試體柱內橫隔板與翼板端部靠近加勁板處有些微掉漆情況，當試驗進行至位移為 4.7mm 時，試體翼板切削段開始發生掉漆情況，且由電腦監控顯示器顯示，試體已有輕微的非線性反應，試驗進行至位移為 20.9mm 時，試體柱內橫隔板之中央排氣孔周圍有石膏漆掉落，且掉漆情況呈 45° 斜角，當試驗進行至位移為 60.8mm 時，上翼板西側切削段圓弧處開始有輕微裂縫產生，此時試體上下翼板與柱內橫隔板之掉漆情況如照片 4-13 至照片 4-15 所示，試驗持續進行至位移為 118.7mm 時，上翼板西側切削圓弧處發生斷裂，如照片 4-16 所示，此時因試體無法提供正常強度，故終止試驗。

EE+8

當試驗進行至位移為 4.3mm 時，試體翼板切削處有些微掉漆情況，且由電腦監控顯示器顯示，試體已有輕微的非線性反應，當試驗進行至位移為 6.3mm 時，試體南面內隔板有些微掉漆情況，當試驗位移為 17.8mm 時，試體內隔板開始有較明顯掉漆情況，當試驗持續進行至位移為 82mm 時，試體翼板切削圓弧處開始有厚度方向緊縮情況發生，當試驗進行至位移為 97.5mm 時，試體上翼板東側之切削圓弧段有輕微開裂情況發生，如照片 4-17 所示，試體其餘部位之掉漆情況如照片 4-18 至照片 4-20 所示，試驗持續進行至位移為 155.9mm 時，上翼板東側切削圓弧處發生斷裂，如照片 4-21 所示，此時因試體無法提供正常強度，故終止試驗。

CE+25

當試驗進行至位移為 2.7mm 時，試體翼板南面端部靠近加勁板處有些微掉漆情況，當試驗進行至位移為 5.2mm 時，試體柱內橫隔板與翼板切削段開始掉漆，且由電腦監控顯示器顯示，試體已有輕微的非線性反應，當試驗進行至位移為 6.9mm 時，由目視觀察試體箱型柱之上柱板有輕微向上拱起之情況，後續隨著試驗位移之增加，其柱板外拱情況愈顯著，當試驗位移為 10.7mm 時，試體箱型柱上柱板之翼板側開始有掉漆情況發生，如照片 4-22 所示，而照片 4-23 至照片 4-25 顯示試驗位移為 55.8mm 時，試體上下翼板與柱內橫隔板掉漆之情況，試驗持續進行至位移為 63.3mm 時，試體突然發聲巨響，強度驟降，觀察試體發現，箱型柱之上柱板因受拉向上拱起，且柱板與內隔板間發生開裂，如照片 4-26 所示，此時因試體無法提供正常強度，故終止試驗。

EE+25

當試驗進行至位移為 5.1mm 時，試體翼板端部靠近加勁板處有些微掉漆情況，當試驗進行至位移為 6.6mm 時，試體翼板切削段開始掉漆，且透過電腦監控顯示器顯示，試體已有輕微的非線性反應，當試驗進行至位移為 8.4mm 時，由目視觀察試體箱型柱之上下柱板有輕微拱起之情況，且柱板之橫隔板側開始發生掉漆情況，如照片 4-27 所示，後續隨著試驗位移之增加，其柱板外拱情況與掉漆愈顯著，當試驗位移為 12.4mm 時，試體柱板之翼板側開始有掉漆情況發生，如照片 4-28 所示，當試驗進行至位移為 16.2mm 時，試體內隔板南側開始掉漆，但掉漆情況並不顯著，而照片 4-29 至照片 4-31 顯示試驗位移為 32.6mm 時，試體上下翼板與柱板外拱之情況，試驗持續進行至位移為 40.8mm 時，試體突然發聲巨響，強度驟降，觀察試體發現，箱型柱之上柱板向上拱起，且柱板與橫隔板間發生開裂，如照片 4-32 所示，此時因試體無法提供正常強度，故終止試驗。

EE-16

當試驗進行至位移為 2.2mm 時，試體內隔板與翼板端部靠近加勁板處有些微掉漆情況，當試驗進行至位移為 4.7mm 時，試體翼板切削段開始發生掉漆情況，且由電腦

監控顯示器顯示，試體已有輕微的非線性反應，試驗進行至位移為 49.1mm 以前，其翼板掉漆情況較顯著，內隔板幾乎沒有掉漆，而當試驗位移至 49.1mm 時，內隔板掉漆情況開始較為明顯，當試驗進行至位移為 58mm 時，試體內隔板之中央排氣孔附近有石膏漆掉落，且掉漆情況呈 45° 斜角，當試驗進行至位移為 133.3mm 時，上翼板切削段圓弧處開始有輕微開裂現象，如照片 4-33 所示，且柱板有向外拱起之現象發生，如照片 4-34 所示，照片 4-35 與照片 4-36 則為此時試體上下翼板之掉漆情況，試驗持續進行至位移為 165.9mm 時，上翼板靠近東側切削段圓弧處斷裂，如照片 4-37 所示，此時因試體無法提供正常強度，故終止試驗。

EE-25

當試驗進行至位移為 4.7mm 時，試體翼板端部靠近加勁板處有些微掉漆情況，當試驗進行至位移為 6.5mm 時，試體內隔板南側與翼板切削段開始輕微掉漆，且透過電腦監控顯示器顯示，試體已有輕微的非線性反應，當試驗進行至位移為 23.6mm 時，內隔板掉漆情況較為顯著，當試驗進行至位移為 32.6mm 時，試體箱型柱之上下柱板有掉漆情況發生，直到試驗位移為 62.2mm 時，柱板開始發生外拱，且有輕微掉漆之情況，照片 4-38 至照片 4-41 為此時試體之掉漆情況，後續隨著試驗位移之增加，其柱板外拱情況與掉漆愈顯著，試驗持續進行至位移為 85.5mm 時，試體突然發聲巨響，強度驟降，觀察試體發現，箱型柱之上柱板向上拱起，且柱板與橫隔板間發生開裂，如照片 4-42 與照片 4-43 所示，此時因試體無法提供正常強度，故終止試驗。

第五節 試驗與有限元素模型分析結果比較

本節主要說明各組試體之試驗結果，並配合 ABAQUS 有限元素分析，比較與探討各組試體於載重歷時作用下之反應。圖 4-7 至圖 4-14 為各組試體之位移與力量關係圖，其中位移為上翼板、下翼板及箱型柱上之三支位移計之總和，力量由 500 噸萬能試驗機獲得，試體 CE+25、EE+25 與 EE-25 皆於試驗位移尚未到達 100mm(相對翼板拉伸率為 16.8%)時即發生破壞，破壞發生極為突然，且強度瞬間喪失，屬於脆性破壞，破壞模式皆為箱型柱柱板受拉拱起而破壞。其餘試體之破壞皆於翼板切削段圓弧處發

生斷裂，此時翼板拉伸率約為 19.3%~27.8%。另對於翼板與柱板之鋼材拉力試驗結果(詳見表 4-2 與圖 4-15)，將有限元素之材料模型進行修正，其中有限元素材料模型採用真實材料試驗結果(圖 4-15 之實線)，其模擬結果如圖 4-16 之紅線所示，而圖 4-16 中虛線為有限元素材料模型採用修正後材料模型(圖 4-15 之虛線)之模擬結果，兩者模擬結果於位移為 60mm 以前皆與 ESW 元件試驗結果相近，但當位移大於 60mm 後，採用真實材料試驗之有限元素模型會呈現強度下降的現象，而使用修正後材料模型之模擬結果與 ESW 元件試驗結果較為接近，故後續於有限元素分析部分，其鋼材材料模型將採用修正後之材料模型(圖 4-15 之虛線)。

圖 4-17 至圖 4-21 為各組試體之柱內橫隔板上靠近柱板應變計之結果，其應變計採用力量約為 350 噸(Mp)時之應變量，圖 4-17 至圖 4-19 分別為翼板不偏心、翼板偏心+8mm 與翼板偏心+25mm 情形下，比較電溶渣銲銲道偏心與否對柱內橫隔板應變之影響，其結果顯示除翼板不偏心外，其餘皆顯示當電溶渣銲銲道有偏心時，其柱內橫隔板之應變反應較大。由於目前電溶渣銲銲道之偏心情況為超音波檢測出之結果，其實際偏心之情況尚待剖開 ESW 元件試體後方可得知。圖 4-20 與圖 4-21 分別為當電溶渣銲銲道皆為偏心與皆為不偏心情況下，變化翼板偏心量之橫隔板應變反應比較，其結果顯示當翼板偏心愈大，橫隔板之應變反應亦隨之增大。ESW 元件試驗之橫隔板應變結果皆與有限元素分析結果相符合。

表 4-1 電熔渣銲元件試體參數表

試體名稱	ESW 垂直偏心率	梁翼板垂直偏心率
CC	0	0 mm
EC	+	0 mm
CE+8	0	+8 mm
EE+8	+	+8 mm
CE+25	0	+25 mm
EE+25	+	+25 mm
EE-16	+	-16 mm
EE-25	+	-25mm

(資料來源：本研究製作)

表 4-2 ESW 元件試驗試體之實際材料強度表

Location	厚度 t (mm)	F_y (MPa)	F_u (MPa)	Elongation (%)*	$YR=F_u / F_y$
Flange	25	346.78	513.65	30.2	1.48
Column	28	329.79	516.49	29.0	1.57

* Gauge Length = 200 mm

(資料來源：本研究製作)

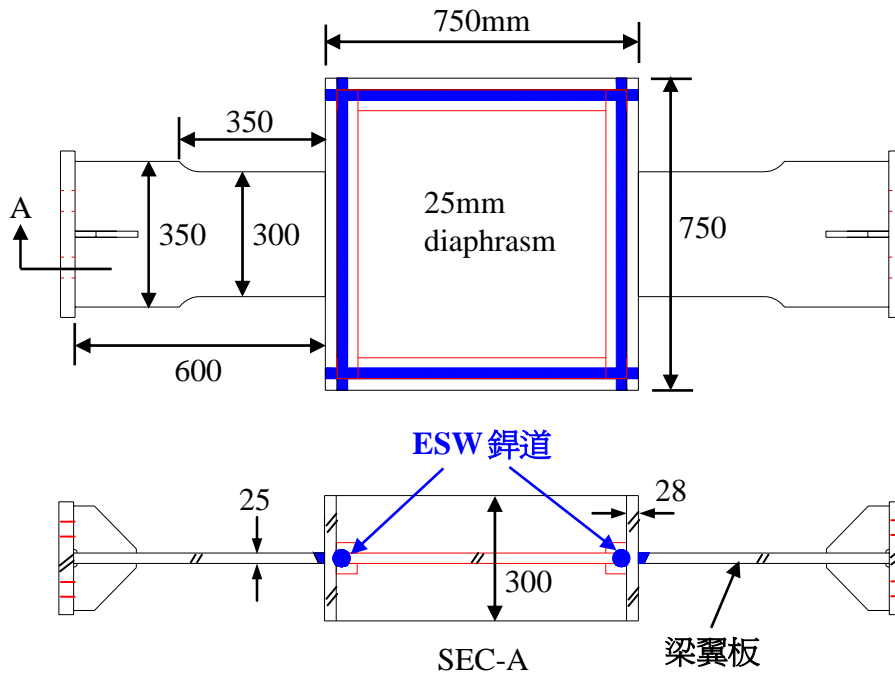


圖 4-1 電熔渣銲元件試體標準圖

(資料來源：本研究製作)

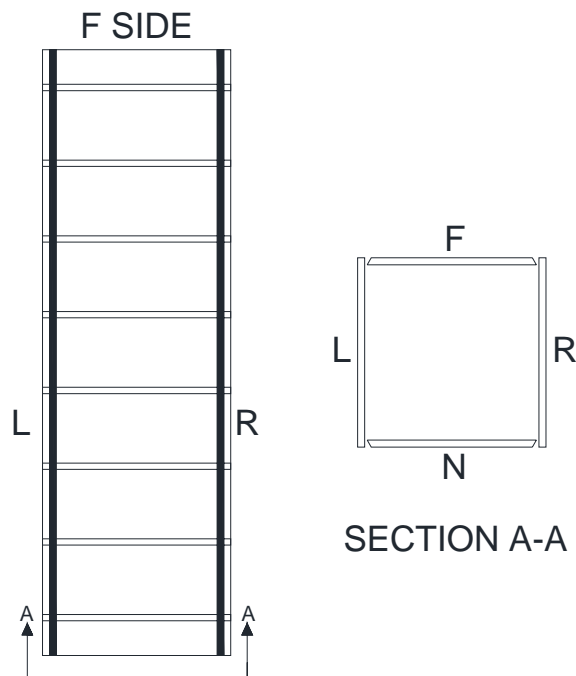


圖 4-2 箱型柱試體之柱面方向標示

(資料來源：本研究製作)

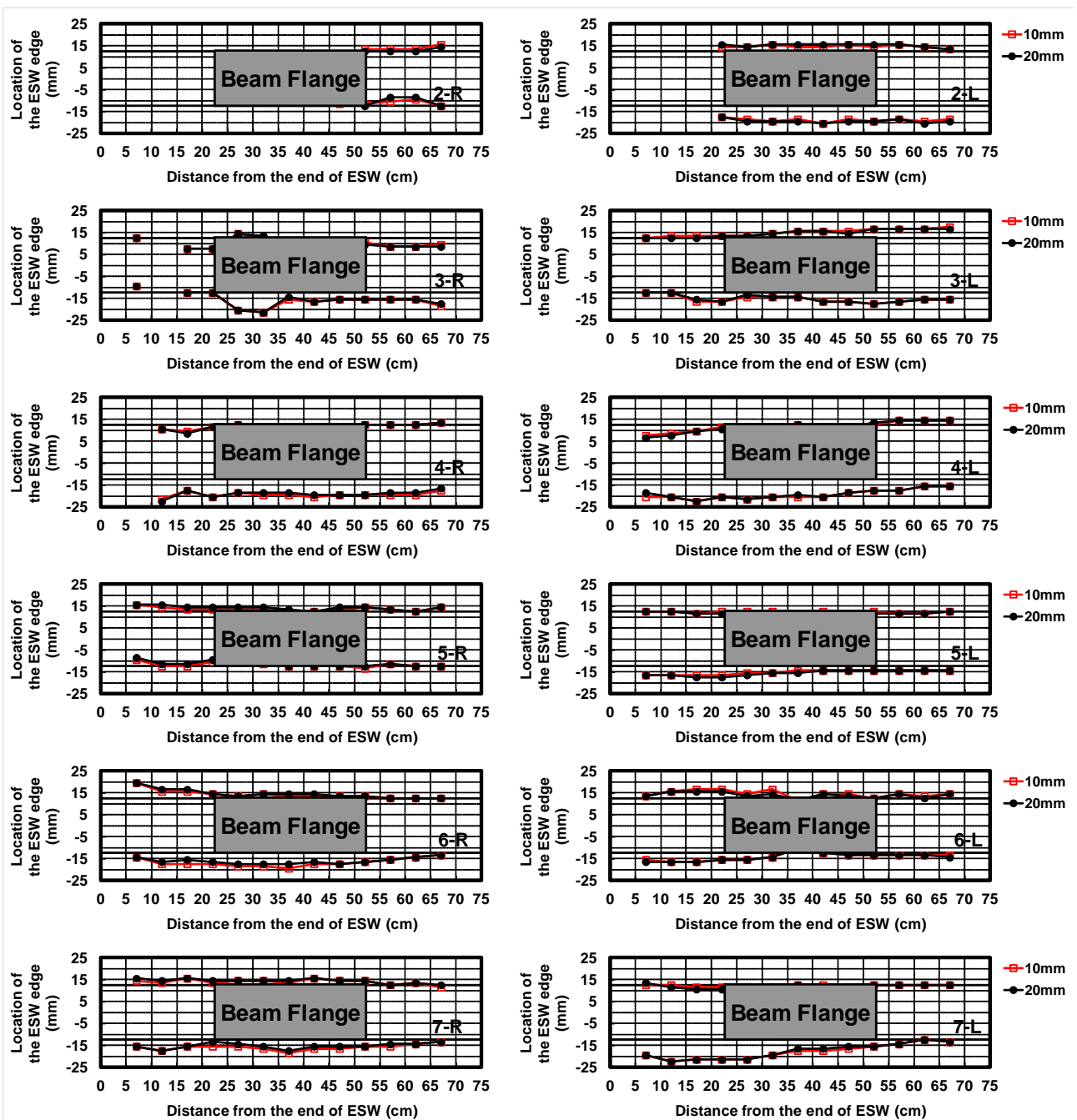


圖 4-3 箱型柱 R 與 L 側電熔渣銲之熔透範圍

(資料來源：本研究製作)

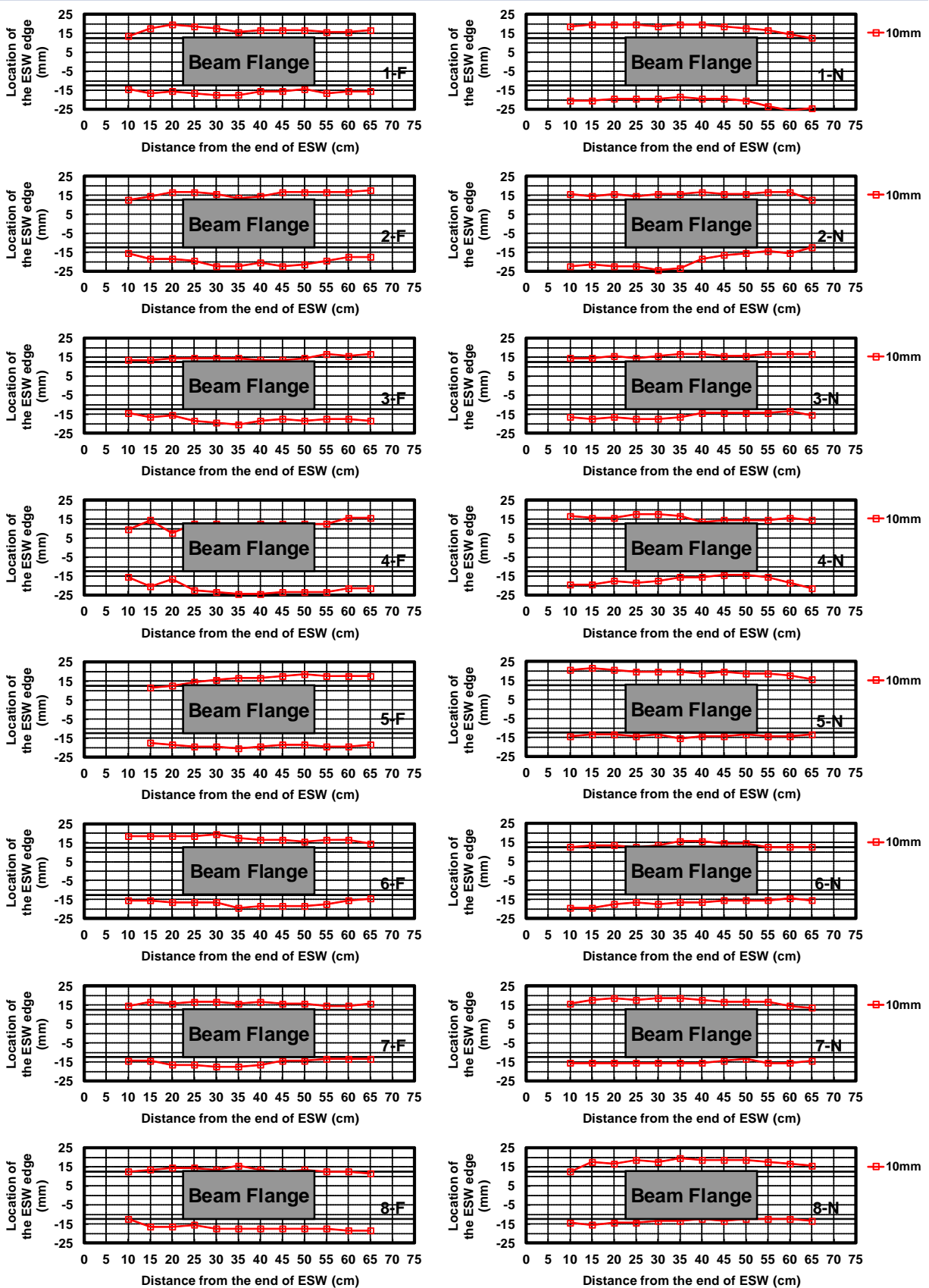


圖 4-4 箱型柱 F 與 N 側電溶渣銲之熔透範圍
(資料來源：本研究製作)

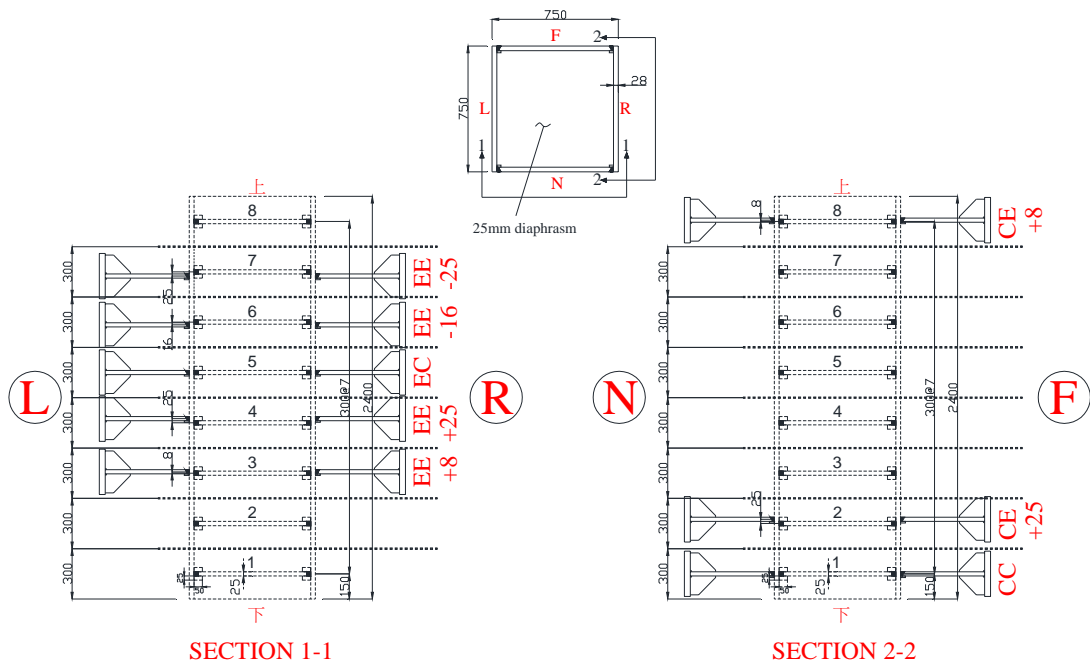


圖 4-5 ESW 元件試體之梁翼位置與方向

(資料來源：本研究製作)

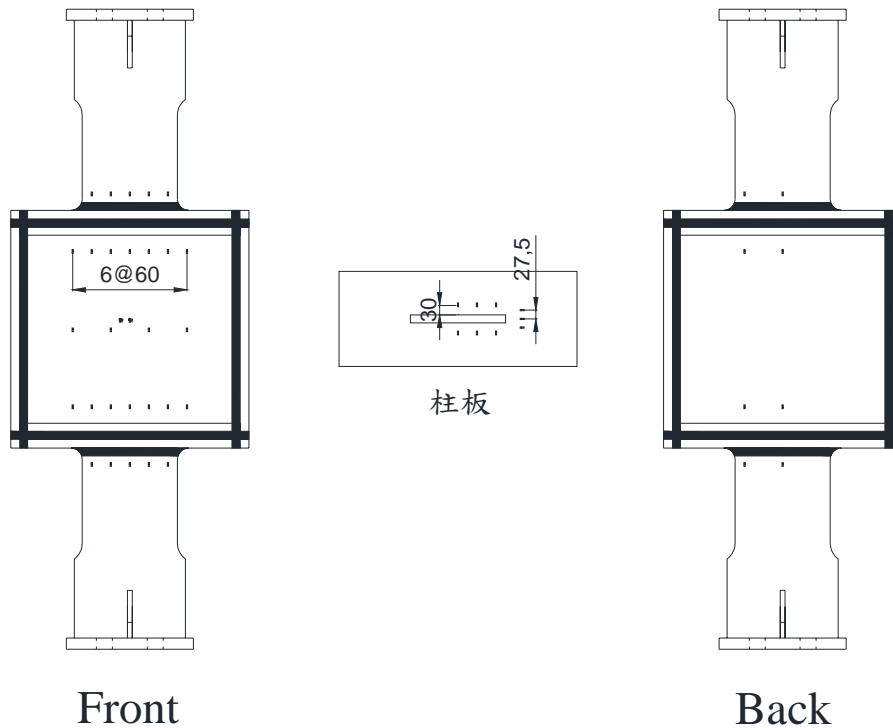


圖 4-6 ESW 元件試體之應變計位置

(資料來源：本研究製作)

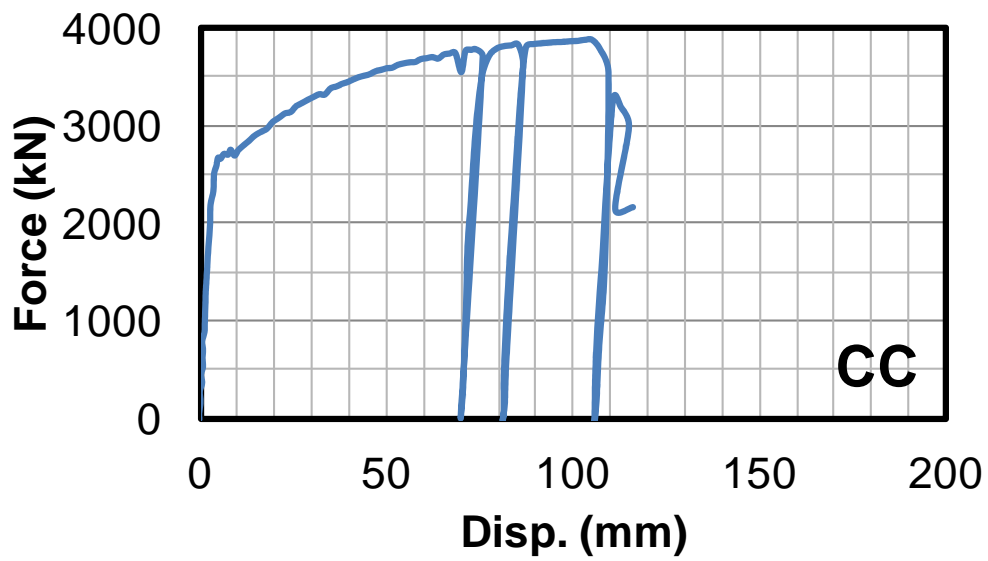


圖 4-7 試體 CC 之位移與力量關係圖
(資料來源：本研究製作)

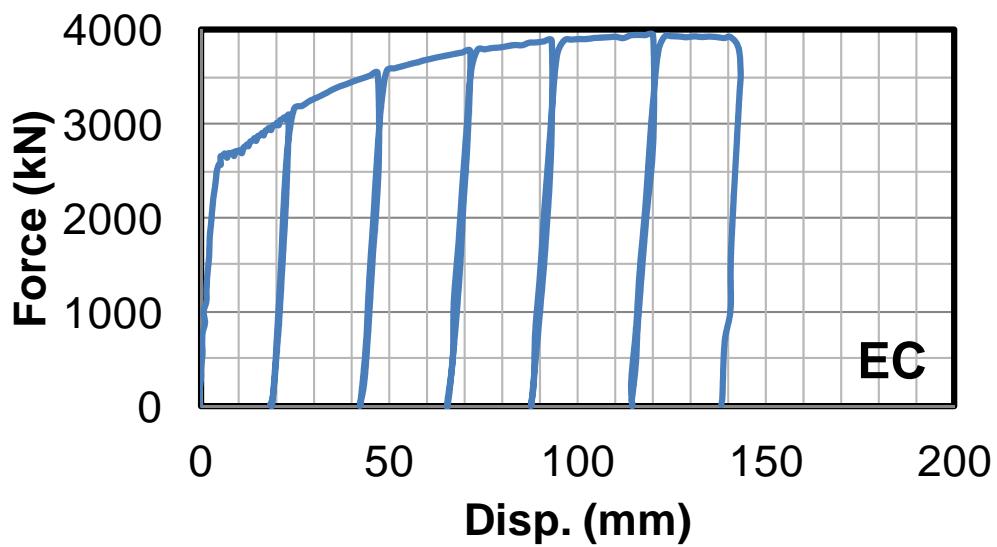


圖 4-8 試體 EC 之位移與力量關係圖
(資料來源：本研究製作)

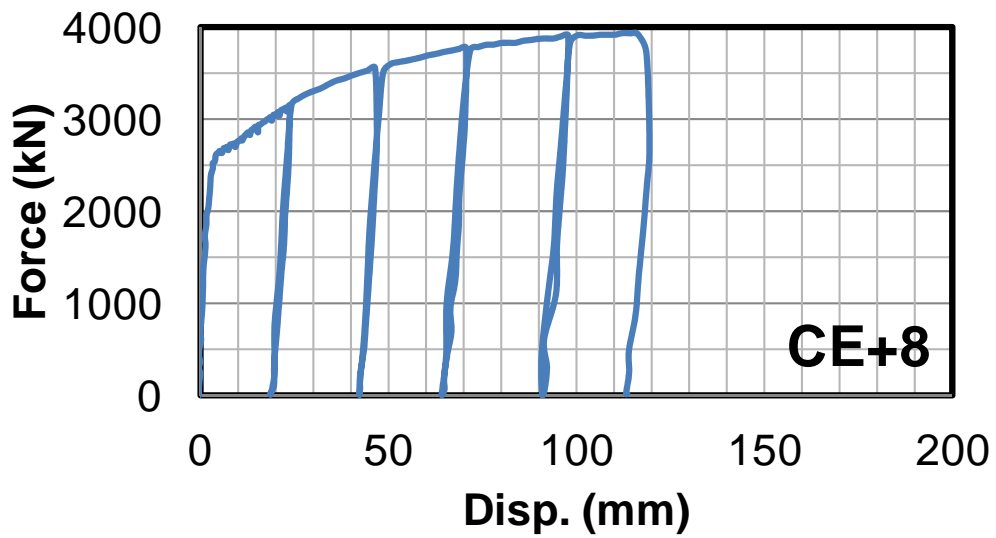


圖 4-9 試體 CE+8 之位移與力量關係圖

(資料來源：本研究製作)

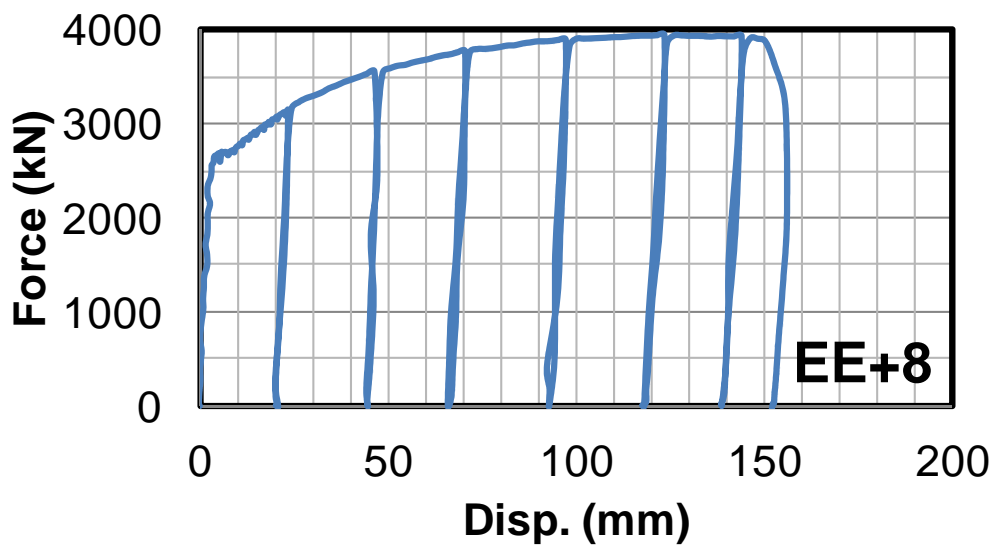


圖 4-10 試體 EE+8 之位移與力量關係圖

(資料來源：本研究製作)

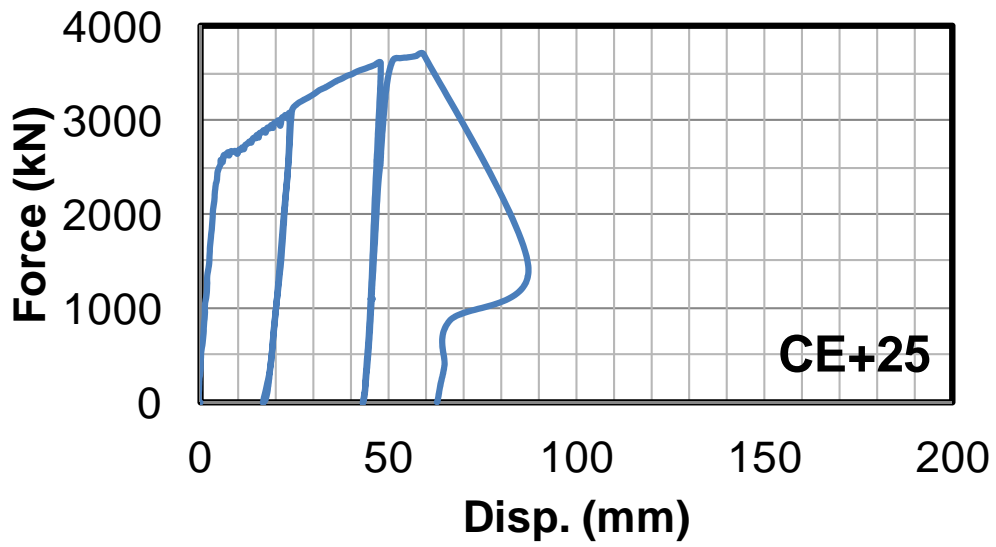


圖 4-11 試體 CE+25 之位移與力量關係圖

(資料來源：本研究製作)

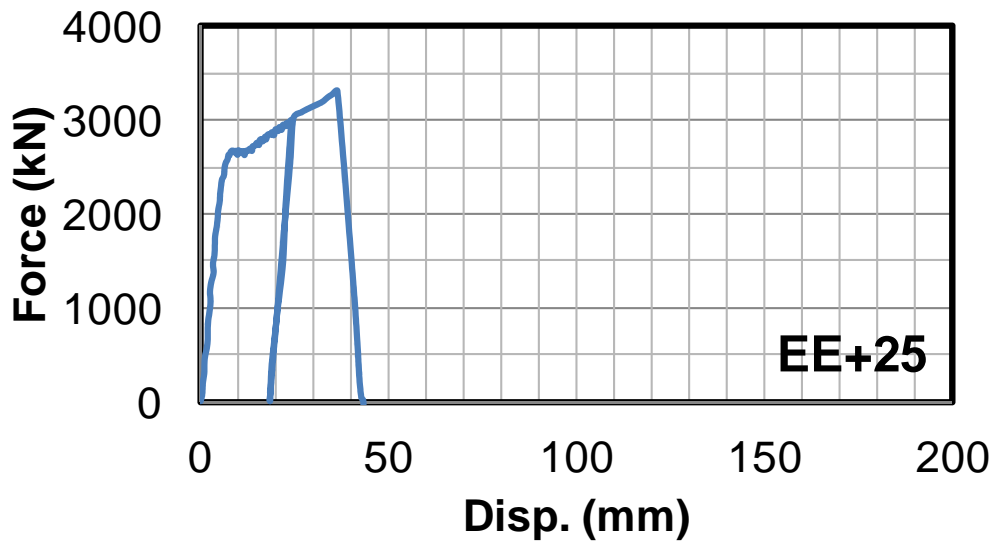


圖 4-12 試體 EE+25 之位移與力量關係圖

(資料來源：本研究製作)

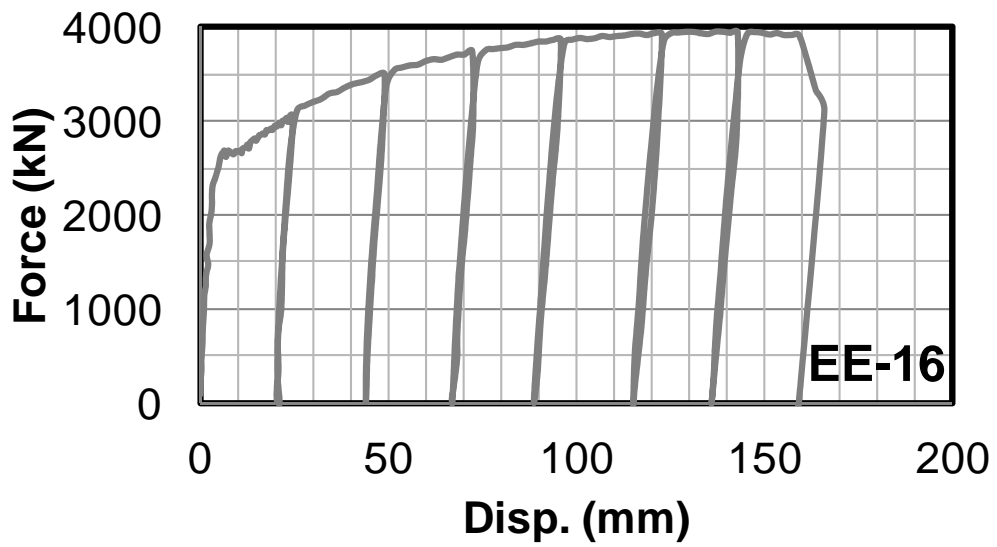


圖 4-13 試體 EE-16 之位移與力量關係圖
(資料來源：本研究製作)

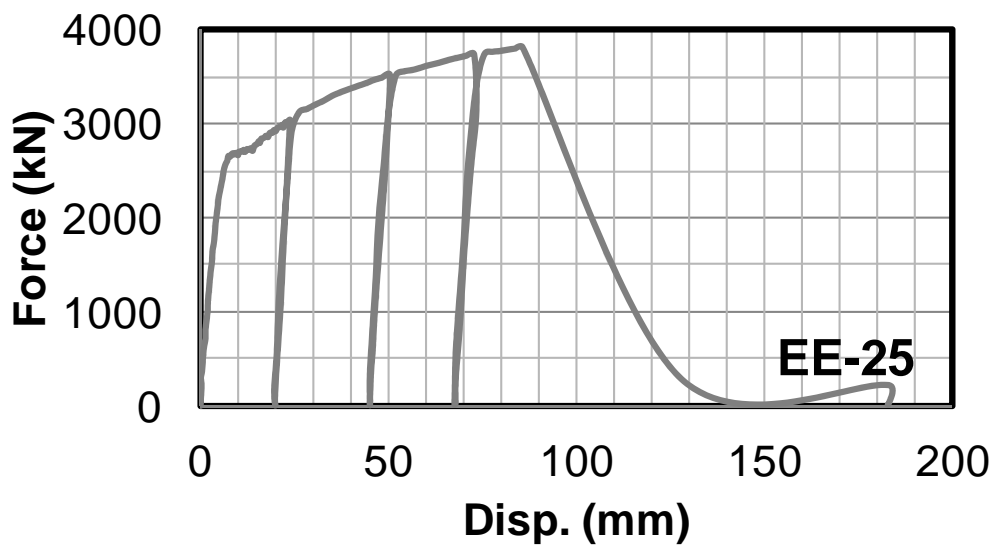


圖 4-14 試體 EE-25 之位移與力量關係圖
(資料來源：本研究製作)

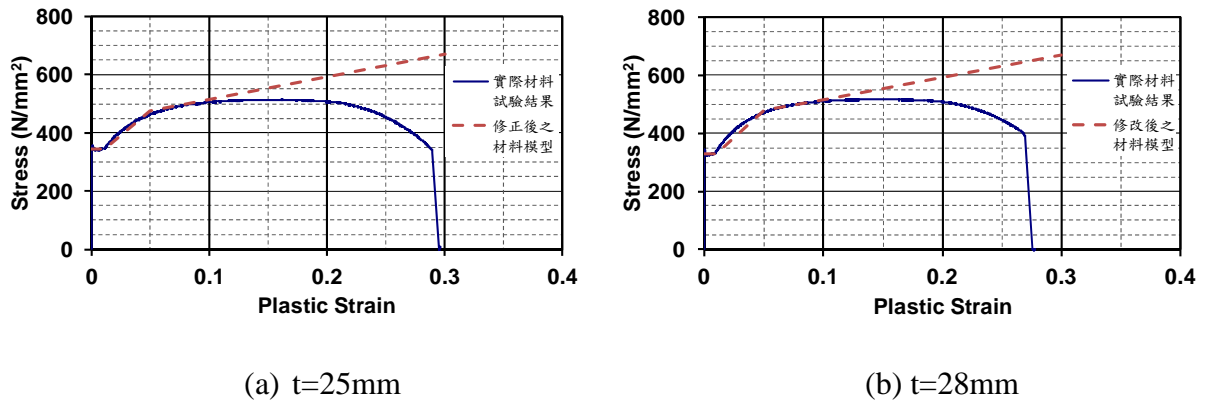


圖 4-15 有限元素分析使用之 SN490B 鋼材真實材料模型

(資料來源：本研究製作)

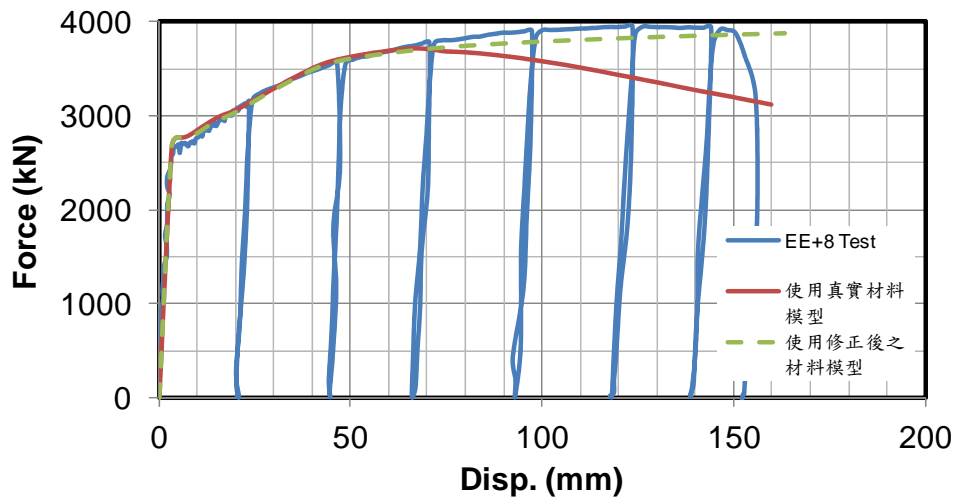


圖 4-16 試體 EE+8 之試驗結果與有限元素分析結果之比較

(資料來源：本研究製作)

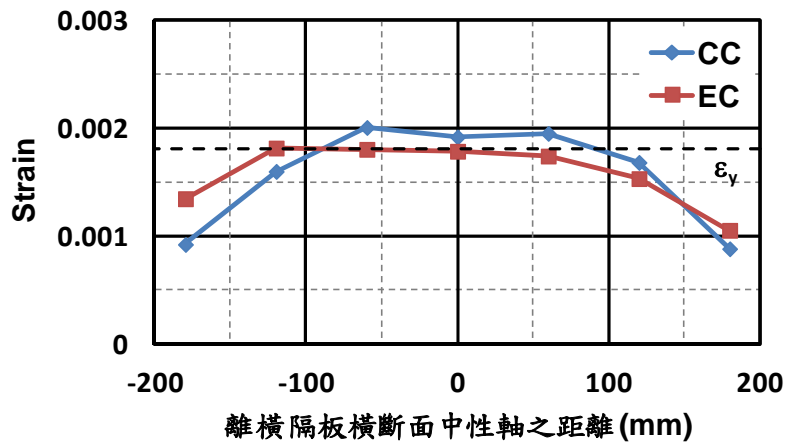


圖 4-17 試體 CC 與 EC 之橫隔板應變比較圖
(資料來源：本研究製作)

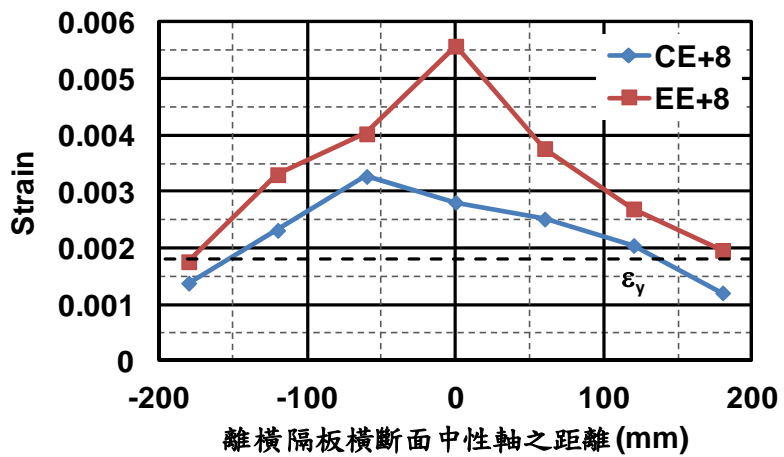


圖 4-18 試體 CE+8 與 EE+8 之橫隔板應變比較圖
(資料來源：本研究製作)

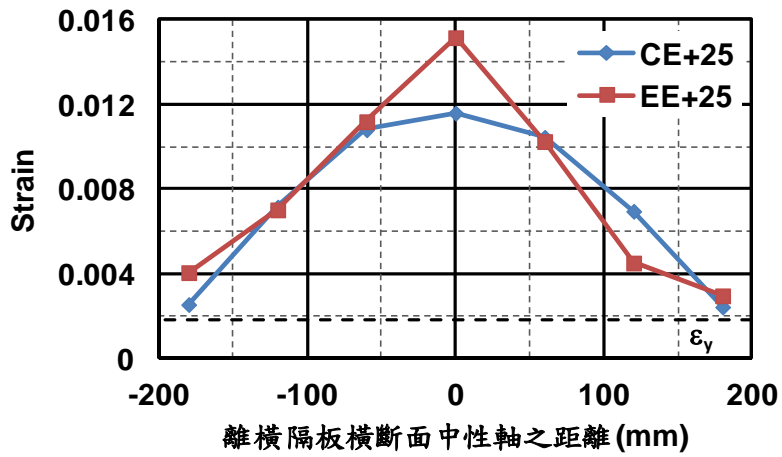


圖 4-19 試體 CE+25 與 EE+25 之橫隔板應變比較圖

(資料來源：本研究製作)

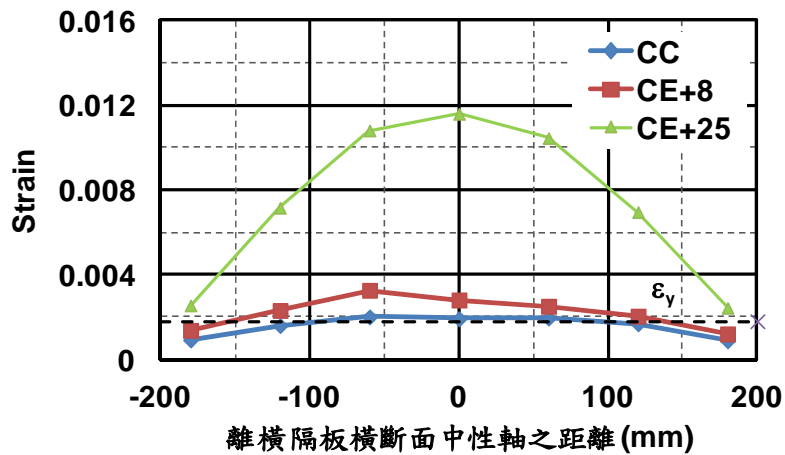


圖 4-20 試體 CC、CE+8 與 CE+25 之橫隔板應變比較圖

(資料來源：本研究製作)

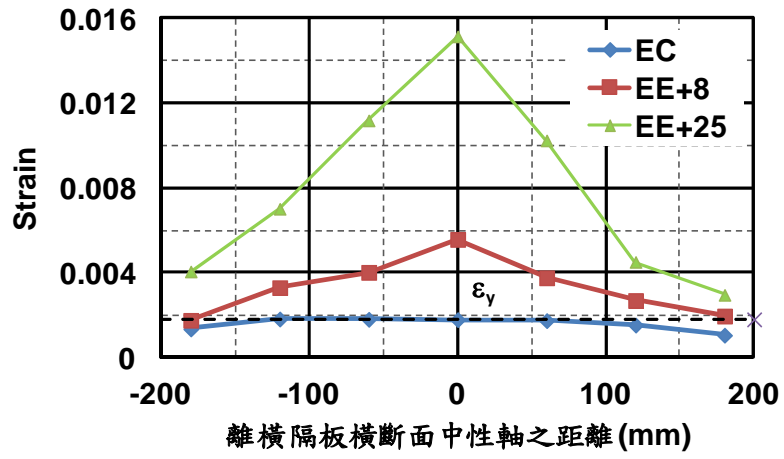


圖 4-21 試體 EC、EE+8 與 EE+25 之橫隔板應變比較圖

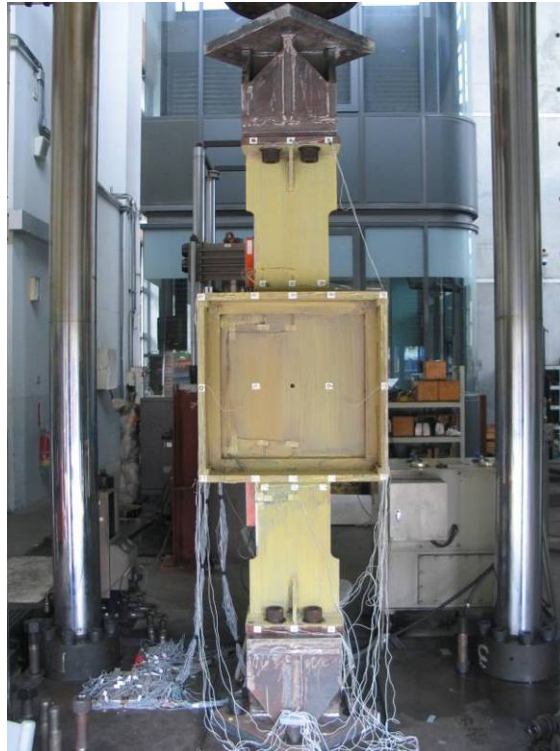
(資料來源：本研究製作)



照片 4-1 ESW 元件試體試驗於 500 噸萬能試驗機之情況
(資料來源：本研究製作)



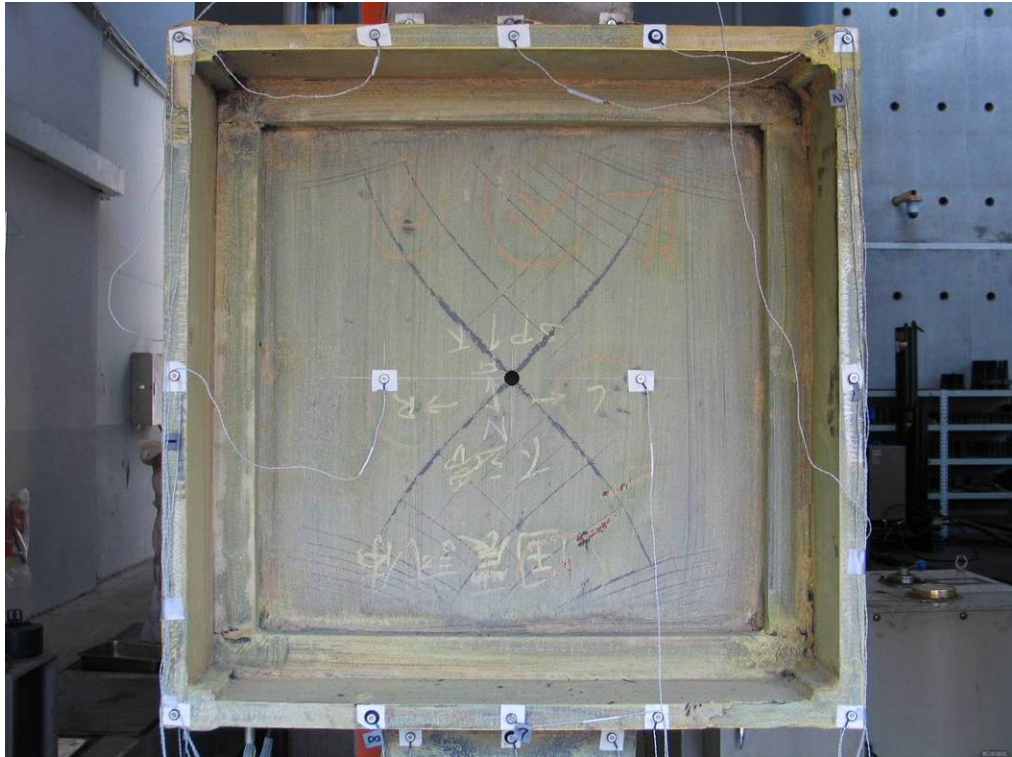
照片 4-2 ESW 元件試體之位移計安裝位置
(資料來源：本研究製作)



照片 4-3 ESW 元件試體之影像量測測點位置
(資料來源：本研究製作)



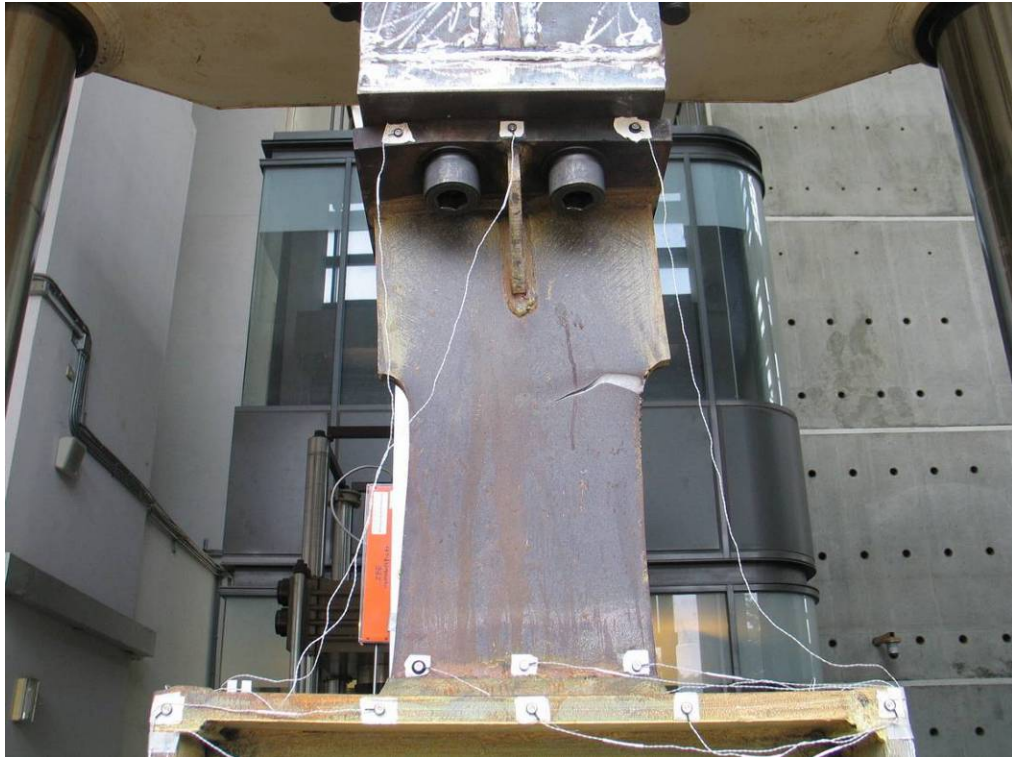
照片 4-4 試體 CC 於試驗位移為 75.8mm 時，上翼板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-5 試體 CC 於試驗位移為 75.8mm 時，柱內隔板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-6 試體 CC 於試驗位移為 75.8mm 時，下翼板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-7 試體 CC 於試驗結束後，上翼板之斷裂情況
(資料來源：本研究製作)



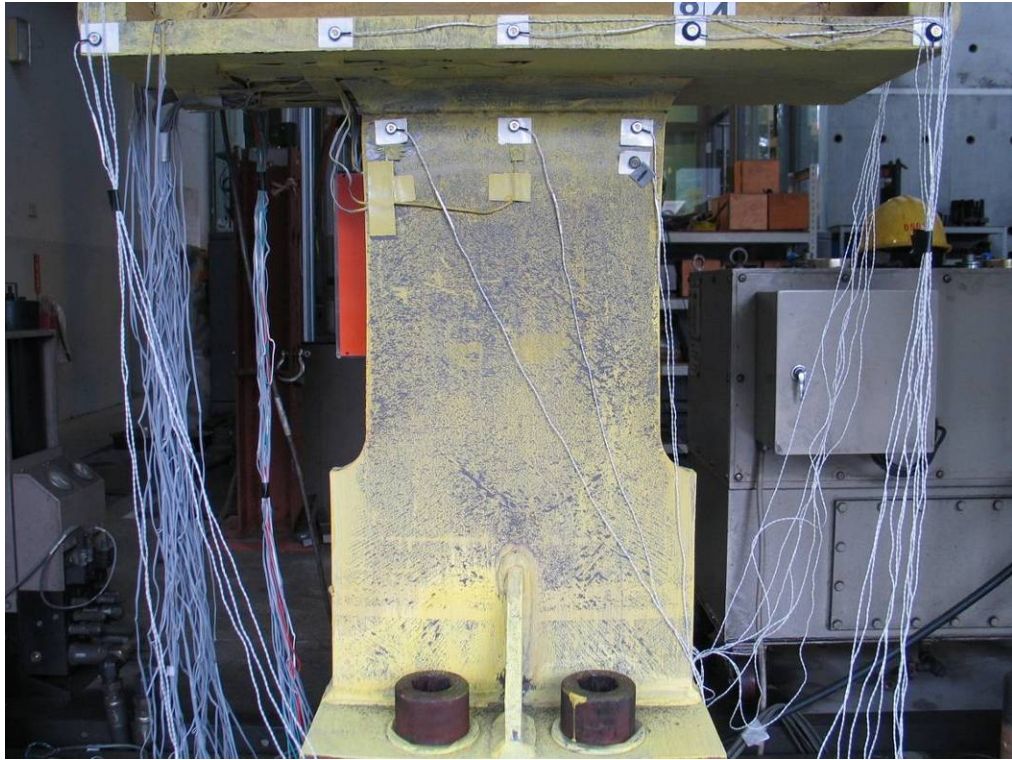
照片 4-8 試體 EC 於試驗位移為 71.9mm 時，翼板切削段圓弧處於厚度方向發生內縮情況
(資料來源：本研究製作)



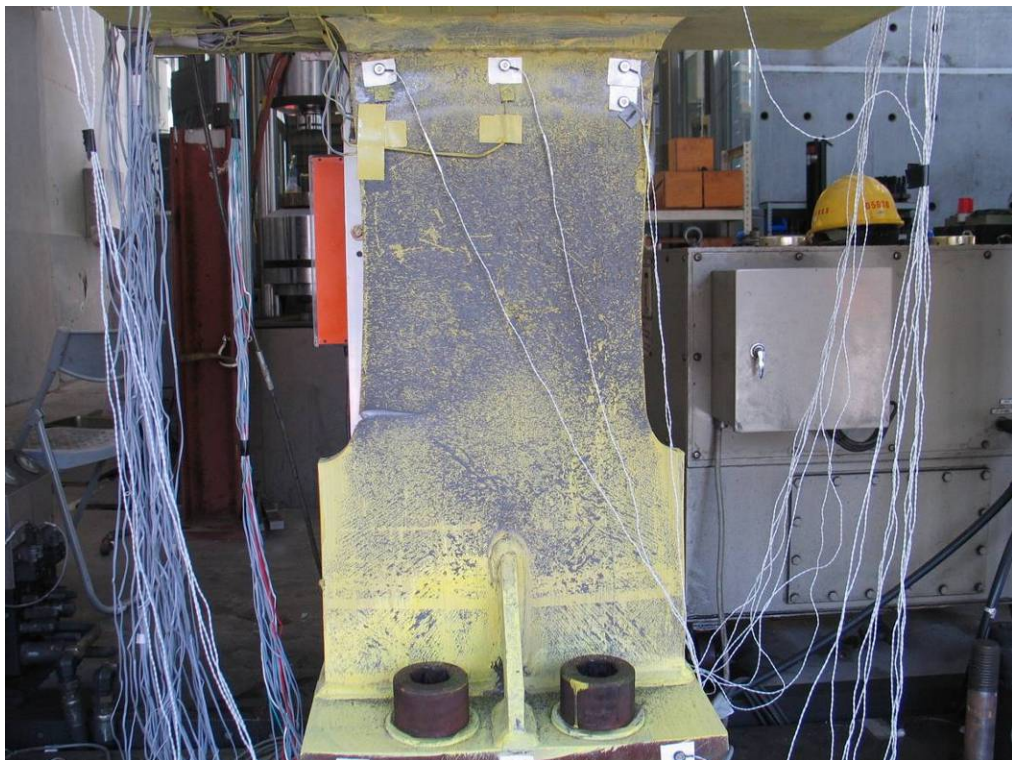
照片 4-9 試體 EC 於試驗位移為 83.7mm 時，上翼板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



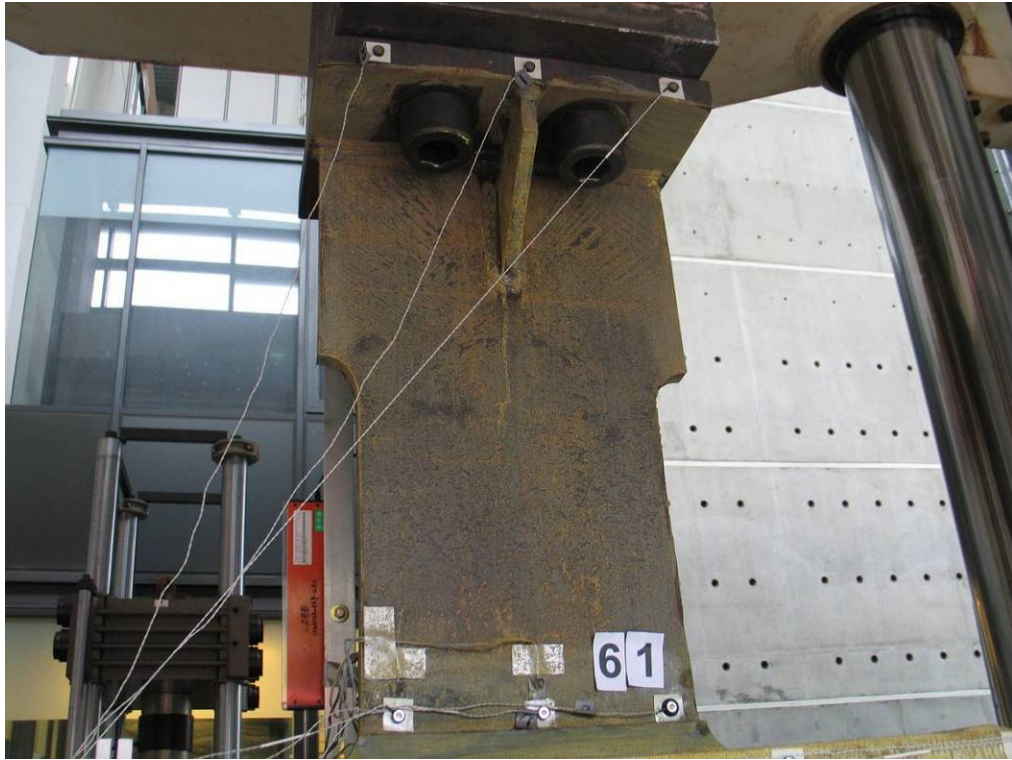
照片 4-10 試體 EC 於試驗位移為 83.7mm 時，柱內隔板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-11 試體 EC 於試驗位移為 83.7mm 時，下翼板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



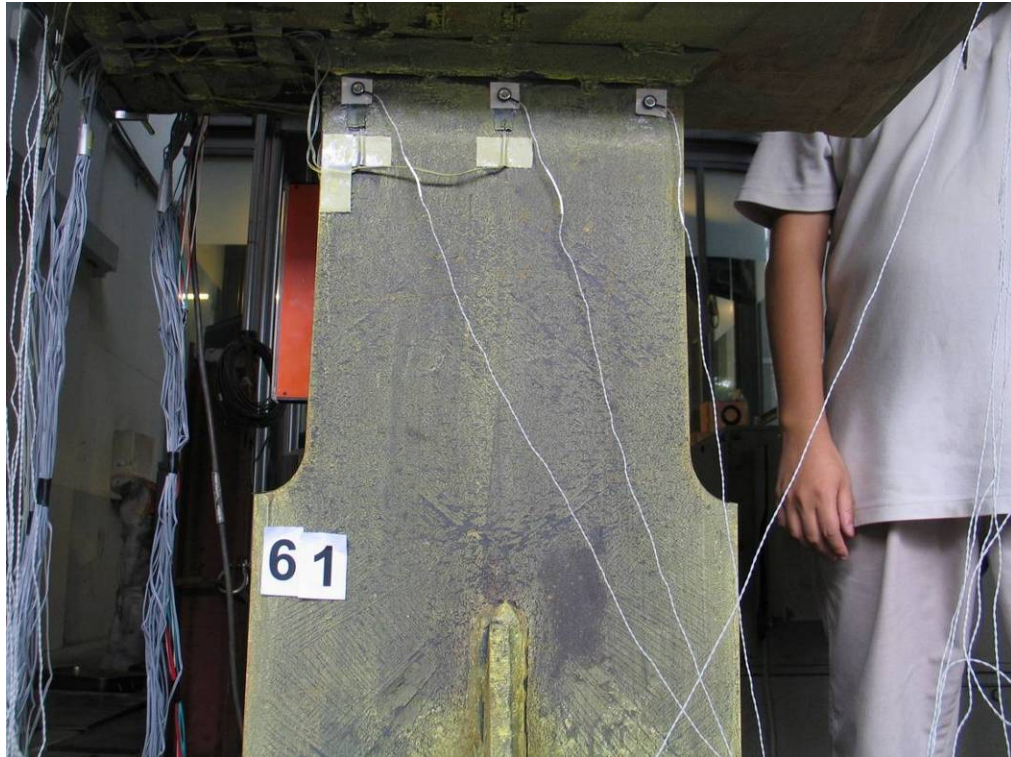
照片 4-12 試體 EC 於試驗結束後，下翼板之斷裂情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-13 試體 CE+8 於試驗位移為 60.8mm 時，上翼板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-14 試體 CE+8 於試驗位移為 60.8mm 時，柱內隔板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-15 試體 CE+8 於試驗位移為 60.8mm 時，下翼板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-16 試體 CE+8 於試驗結束後，上翼板之斷裂情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-17 試體 EE+8 於試驗位移為 97.5mm 時，試體上翼板東側切削圓弧段之開裂情況

(資料來源：本研究製作)

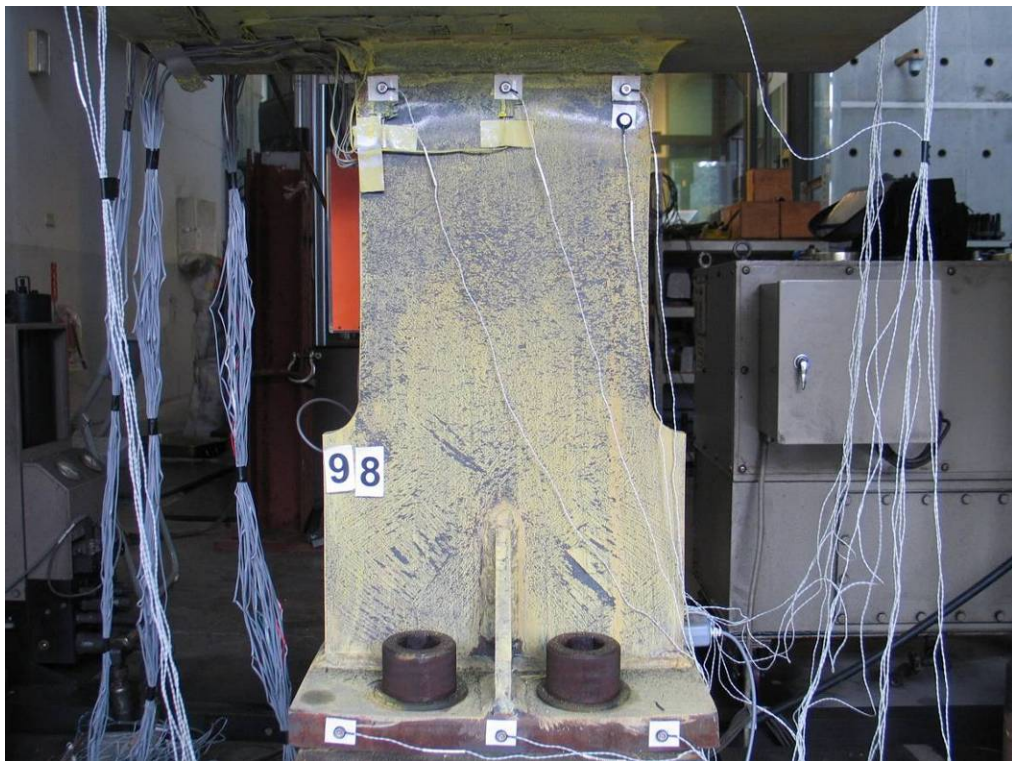


照片 4-18 試體 EE+8 於試驗位移為 97.5mm 時，上翼板之掉漆情況

(資料來源：本研究製作)



照片 4-19 試體 EE+8 於試驗位移為 97.5mm 時，柱內隔板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-20 試體 EE+8 於試驗位移為 97.5mm 時，下翼板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



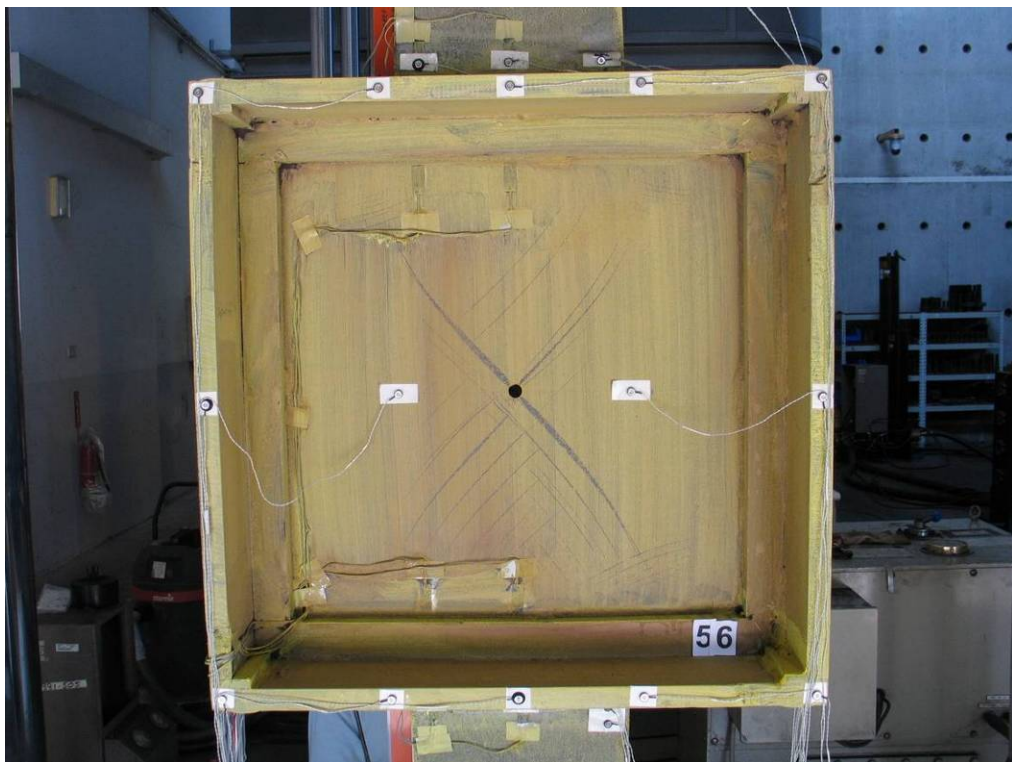
照片 4-21 試體 EE+8 於試驗結束後，上翼板之斷裂情況
(資料來源：本研究製作)



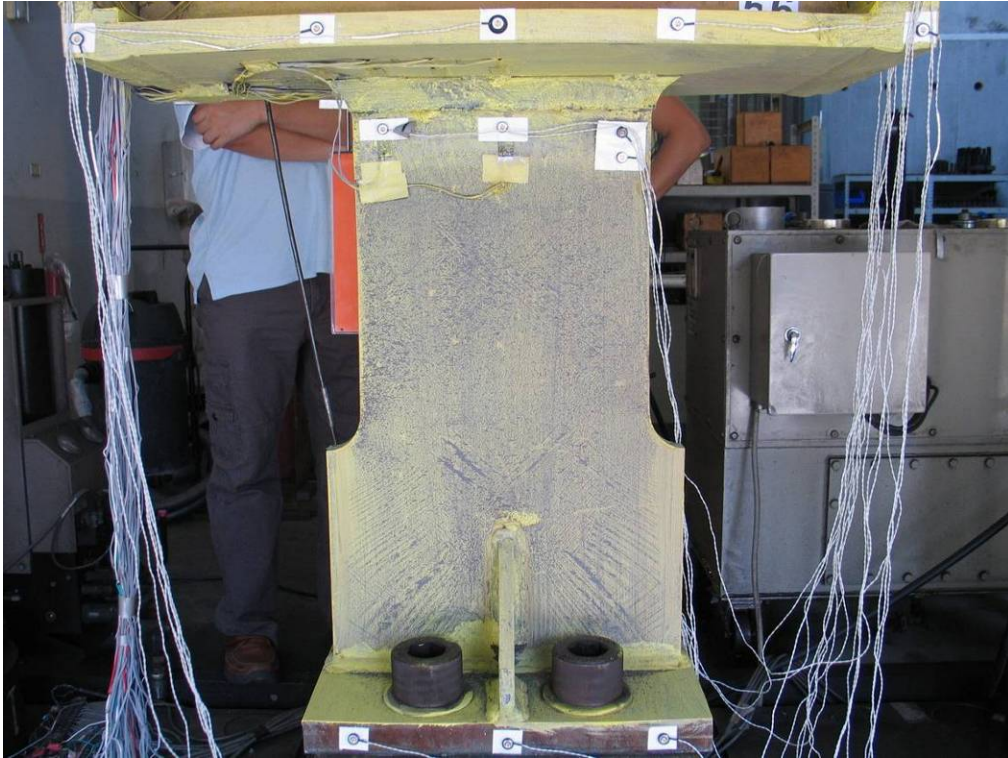
照片 4-22 試體 CE+25 於試驗位移為 10.7mm 時，柱板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-23 試體 CE+25 於試驗位移為 55.8mm 時，上翼板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-24 試體 CE+25 於試驗位移為 55.8mm 時，柱內隔板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-25 試體 CE+25 於試驗位移為 55.8mm 時，下翼板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-26 試體 CE+25 於試驗位移為 63.3mm 時，試體之破壞情況
(資料來源：本研究製作)



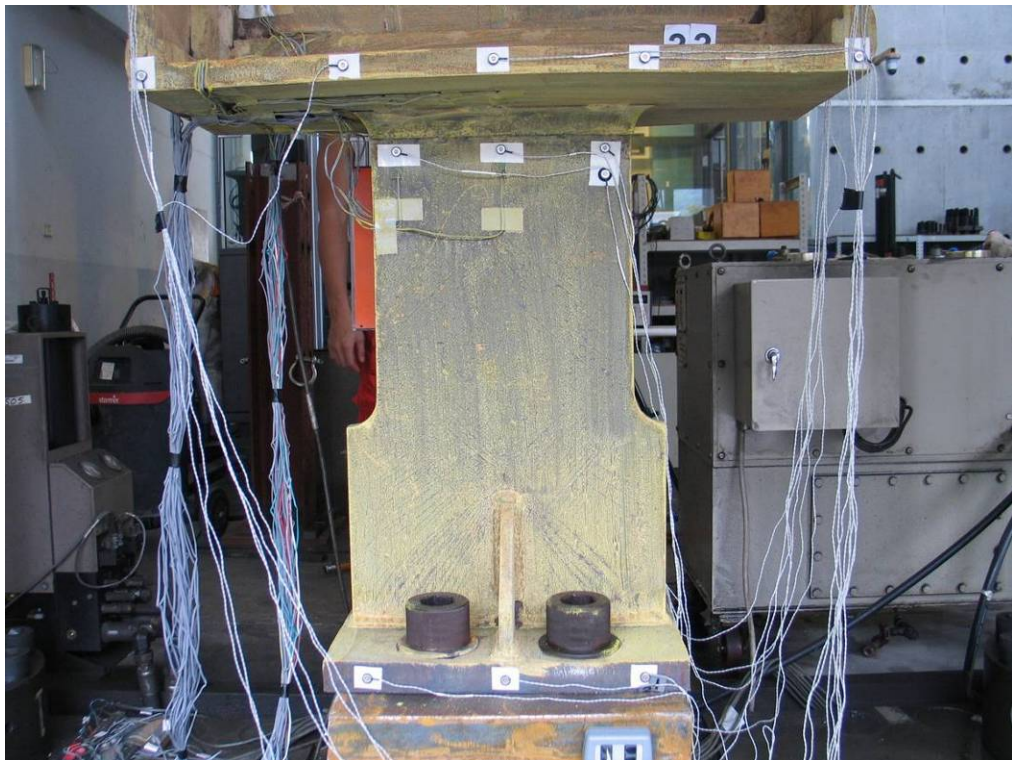
照片 4-27 試體 EE+25 於試驗位移為 8.4mm 時，柱板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-28 試體 EE+25 於試驗位移為 12.4mm 時，柱板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-29 試體 EE+25 於試驗位移為 32.6mm 時，上翼板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-30 試體 EE+25 於試驗位移為 32.6mm 時，下翼板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-31 試體 EE+25 於試驗位移為 32.6mm 時，柱板外拱之情況
(資料來源：本研究製作)

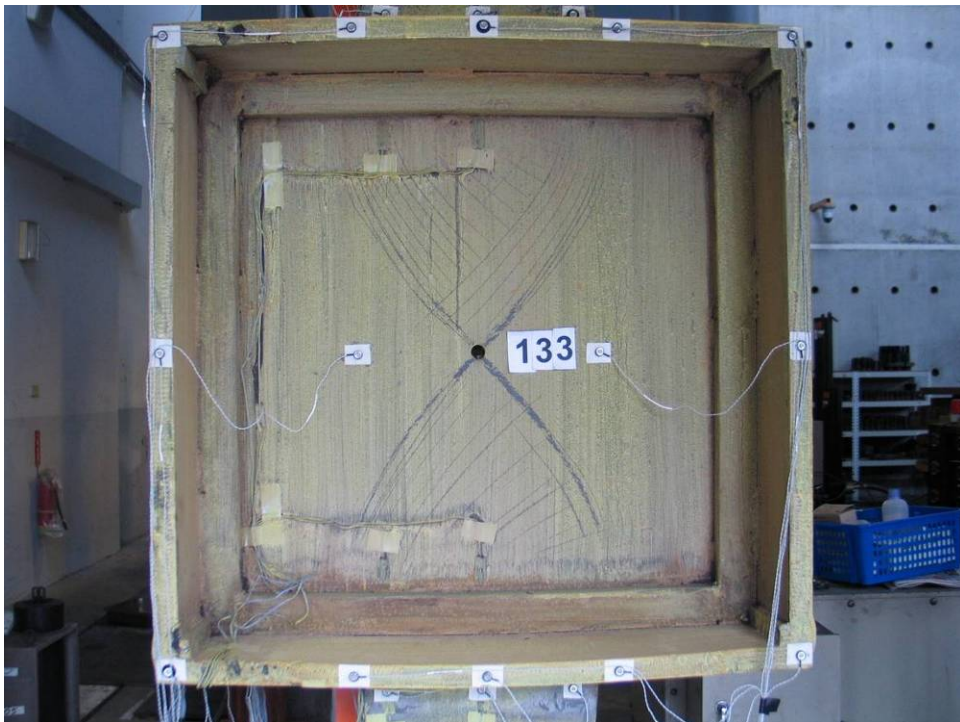


照片 4-32 試體 EE+25 於試驗位移為 40.8mm 時，試體之破壞情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-33 試體 EE-16 於試驗位移為 133.3mm 時，上翼板切削段圓弧處開始有輕微開裂現象

(資料來源：本研究製作)



照片 4-34 試體 EE-16 於試驗位移為 133.3mm 時，柱板外拱之情況

(資料來源：本研究製作)



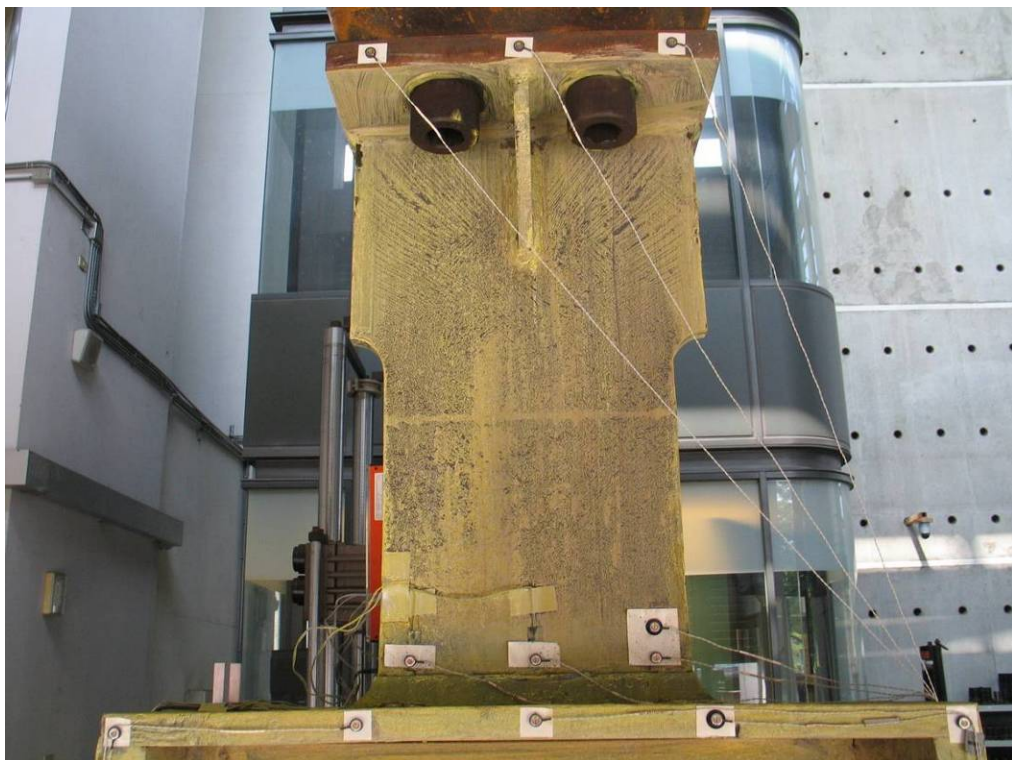
照片 4-35 試體 EE-16 於試驗位移為 133.3mm 時，上翼板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



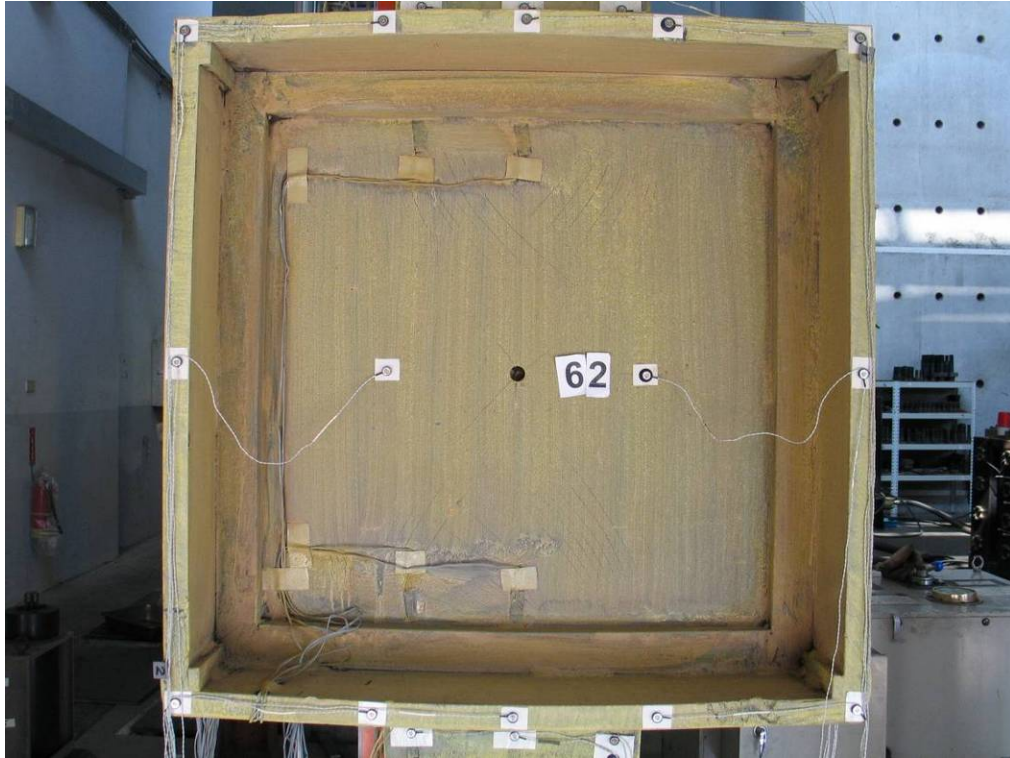
照片 4-36 試體 EE-16 於試驗位移為 133.3mm 時，下翼板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



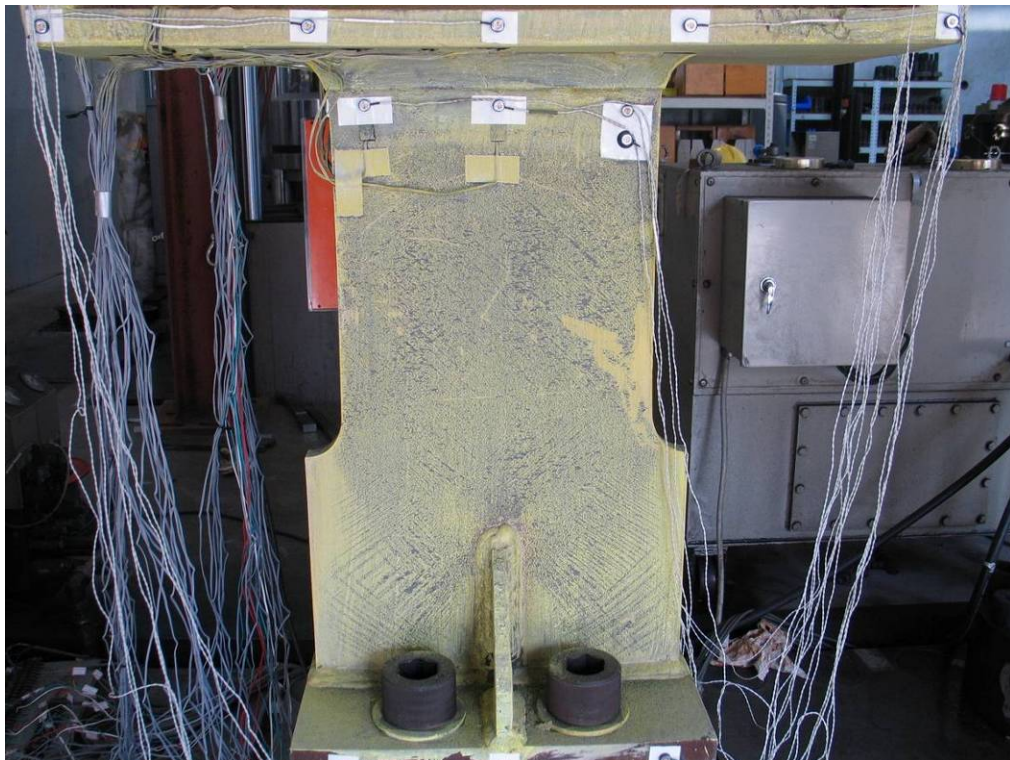
照片 4-37 試體 EE-16 於試驗結束後，上翼板之斷裂情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-38 試體 EE-25 於試驗位移為 62.2mm 時，上翼板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-39 試體 EE-25 於試驗位移為 62.2mm 時，柱內隔板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-40 試體 EE-25 於試驗位移為 62.2mm 時，下翼板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-41 試體 EE-25 於試驗位移為 62.2mm 時，柱板之掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 4-42 試體 EE-25 於試驗位移為 85.5mm 時，試體之破壞情況(1)
(資料來源：本研究製作)



照片 4-43 試體 EE-25 於試驗位移為 85.5mm 時，試體之破壞情況(2)
(資料來源：本研究製作)

第五章 實尺寸鋼梁與箱型柱接頭試驗

第一節 試體設計

本試驗共進行兩組實尺寸鋼結構梁柱接頭試體試驗，其中一組採用 ESW 之偏心情況，但梁翼板不偏心，而另一組則採用 ESW 與梁翼板皆偏心之情況，第一組試體名稱為 EC，第一個字母代表 ESW 有偏心，第二個字母則代表梁翼板不偏心，而第二組試體名稱為 EE。試體各部均採用 SN490B 材質之鋼材，試體鋼柱之斷面尺寸為 BOX 750x750x28 mm，試體鋼梁之斷面尺寸為 BH 800x300x14x25 mm，並於鋼梁上下翼板外側使用 $t=8\text{mm}$ 、 $L=365\text{mm}$ 之蓋板。柱內對應於梁翼板高程處皆配置柱內橫隔板 (diaphragms)，厚度與梁翼板相同(兩組試體均為 25cm)。梁柱接頭之接合細節中，梁翼板採工地全滲透鐸與柱板接合，並以鋼質背襯板做為全滲透鐸道之背襯板，鐸接完成後，兩側起、迄弧板均移除且整修與磨平，上下翼板之背襯版 (backing) 均不移除。試體之梁腹板以兩排 8 支共 16 支 M24-S10T 高張力螺栓，以提供梁柱接合處之剪力需求。實尺寸鋼結構梁柱接頭試體之設計圖詳見圖 5-1。

第二節 試體製造

箱型柱與鋼梁之製作於春源鋼鐵工業股份有限公司之鋼構廠進行，其中箱型柱內橫隔板四面皆採用電熱熔渣鐸與柱板相接，當四面柱板與柱內橫隔板組立完成後，開始進行電熱熔渣鐸之工作，其柱板與橫隔板接合細節與方向如圖 5-2 所示，其中東側與西側為同時施作電熔渣鐸鐸道，待其電熔渣鐸工作完成後，針對東、西側進行超音波垂直探測，將檢測電熔渣鐸是否有瑕疵並量測其熔透範圍，其採用之探頭大小分為 10mm 與 20mm 兩種，以增加超音波檢測之準確性，該熔透範圍如圖 5-3 所示。完成上述第一階段之電熱熔渣鐸鐸接後，於南側與北側進行潛弧鐸鐸接工作，並針對該潛弧鐸鐸道進行超音波檢測，以確認其鐸道品質。接著則將箱型柱延柱高度方向之軸心旋轉 90° ，繼續對南側與北側進行電熔渣鐸之鐸接工作，同樣必須針對電熔渣鐸鐸道

進行超音波檢測工作，此時檢測只採用 10mm 探頭記錄其熔透範圍，該熔透範圍如圖 5-4 所示。其中東側、西側與北側於進行電熱熔渣銲銲接時，均將電熔渣銲之導管偏心 3.5mm，而南側則是將導管置於由橫隔板、柱板與兩片背襯板所包圍空間之正中央進行電熔渣銲銲接。

俟箱型柱與鋼梁製造完成後運送至國家地震工程研究中心大型力學實驗室，於實驗室現場進行鋼梁與鋼柱之組裝與銲接，組裝過程採用柱直立、梁水平放置之方式進行，所有組裝程序及細節製作均模擬工地實際施作情形。試體之梁翼板全滲透銲銲道均需經由超音波檢測(UT)合格後方可進行試驗，試體實際組裝步驟與施工情形如下所述：

試體 EC

在實驗室將試體柱垂直立起，依據電熱熔渣銲之超音波檢測結果，第一組鋼梁將與箱型柱東面柱板相接合，將試體梁與試體柱組裝且定位後，旋緊腹板上之扭矩控制型斷尾螺栓(TC Bolts)，並進行梁翼板全滲透銲，待完成全滲透銲接工作後，將兩側銲道之起迄弧板移除並整修磨平，完成本梁柱接頭試體之製作，最後進行 UT 檢測，經 UT 檢測判讀焊道內之瑕疵不符施工規範要求者，均需剷除重焊，直到 UT 檢測合格為止。本試體經一次超音波檢測，其梁上、下翼板之全滲透銲銲道皆符合合格範圍，最後將銲道兩側之起迄弧板移除並整修磨平，完成本梁柱接頭試體之製作。

試體 EE

試體 EE 之組裝步驟與試體 EC 相同，但鋼梁與箱型柱北面柱板相接合，且鋼梁位置為往柱底方向偏心 25mm。本試體之上、下梁翼板全滲透銲銲道經一次超音波檢測即符合合格範圍。

第三節 試驗方法

試驗裝置如圖 5-5 及照片 5-1 所示，試體柱垂直放置，兩端分別以四支直徑為 36mm 之預力鋼棒，將其固定於雙腹板之支承梁上，雙腹板支承梁以螺栓與固定於反力牆之

100 mm 鋼板接合，柱兩端支承中心之距離為 3750 mm。柱底藉由一支短柱固定於反力地板上，以防止試體柱在梁受力作用時發生軸向滑動。試體梁水平放置，其自由端與一支固定於反力地板之油壓伺服閥千斤頂相接。為使試體梁能順利發揮塑性彎矩能力，因此在梁軸向方向之適當位置配置側向支撐構架，使梁長符合規範規定梁能發揮塑性彎矩之未支撐長度的要求，並引導試體梁在試驗過程中沿著施力方向移動。本次實驗配合試體梁達塑性彎矩所需之最長無支撐長度，保守採用二組側向支撐，以提供試體梁柱平面外的穩定性。

整個試驗是由接於梁端下翼板外側之油壓伺服閥千斤頂施加力量，試驗採用位移控制施以反覆逐漸增加之位移載重，並由電腦程式自動控制油壓伺服閥千斤頂，依照預定之位移歷時執行，試驗之位移如圖 5-6 所示。所有預定施加之位移均由層間位移角為基準，並乘以梁端施力中心至柱心之距離而得，試驗所採用之位移歷時乃依據 AISC 2005 年出版之耐震特別規定中附錄 S 6.2 之規定[AISC, 2005]，尖峰位移角為 0.00375、0.005 以及 0.0075 弧度之迴圈重複循環六圈，0.01 弧度之迴圈重複循環四圈，0.015、0.02、0.03、0.04、0.05 及 0.06 弧度之迴圈重複循環兩圈。每組試體預定試驗至 0.06 弧度或試體強度衰減至最大強度之 80% 以下時停止試驗。於實驗進行中，藉著千斤頂即時輸出之力量與位移監看試體梁施力端之力量與位移關係，以獲得試體初步之強度與變形性能。

在量測系統方面，梁柱交會區之量測計畫如圖 5-7 所示，除了油壓伺服閥千斤頂內之位移計與荷重計之外，在梁柱交會區架設四組 π -gauge 以及四組角度計用以量測梁柱交會區剪力變形及其柱轉角變形；另於梁翼、梁腹與柱面上黏貼應變計監控其應變情況。試體之梁柱交會區、柱及梁變形可藉由以上之變形量測裝置直接或間接計算獲得[蔡克銓等 1999]。以上所有施力與變形資料均藉由電腦自動控制資料蒐集器以適當之頻率收集之。為方便爾後試驗結果之說明，力量與位移之方向符號定義如下：當梁受正彎矩（下翼板受拉）作用時之力量與位移定義為正，反之為負。

第四節 試驗過程

為方便試驗過程之觀察，在實驗開始前，於梁柱接頭處可能發生降伏的範圍塗上

石膏漆，由於石膏為脆性物質，因此當試體發生較大變形時石膏將產生脆裂，故可藉由目視石膏漆剝落情形，判斷試體是否發生降伏或局部挫屈的嚴重與否，同時配合千斤頂的施力與位移數值資料初步判斷試體反應。

試體 EC

當試驗進行至尖峰位移角 0.01 弧度迴圈以前，試體大致仍維持彈性反應，並沒有明顯的石膏漆掉漆情況，試驗進行至尖峰位移角 0.01 弧度第一迴圈時，由電腦監控顯示器顯示，試體已明顯有輕微的非線性反應，此時梁翼開始有輕微掉漆情況，如照片 5-2 所示，試驗進行至尖峰位移角 0.015 弧度時，梁上、下翼板之蓋板發生輕微掉漆情況，且梁腹亦開始掉漆，如照片 5-3 與 5-4 所示。試驗繼續進行至尖峰位移角 0.03 弧度時，鋼梁翼板與腹板之掉漆情況持續加劇，且梁腹有輕微挫屈之情況，於翼板蓋板之尖端銲道有開裂情況，如照片 5-5 所示，當試驗繼續進行至尖峰位移角 0.04 弧度時，梁上、下翼板發生明顯局部挫屈情況，且於尖峰位移角 0.04 弧度之第二迴圈時，強度開始有下降趨勢，試驗進行至尖峰位移角 0.05 弧度時，梁翼與梁腹局部挫屈嚴重，如照片 5-6 所示，且蓋板之側邊銲道已開裂至約 1/4 側邊銲道長度，如照片 5-7 所示，當試驗進行至尖峰位移角 0.05 弧度之第二迴圈時，試體突然發生巨響，強度驟降，觀察試體發現，於梁上翼板發生斷裂，如照片 5-8 所示，此時因試體無法提供正常強度，故終止試驗。

試體 EE

當試驗進行至尖峰位移角 0.01 弧度迴圈以前，試體大致仍維持彈性反應，並沒有明顯的石膏漆掉漆情況，試驗進行至尖峰位移角 0.01 弧度第一迴圈時，由電腦監控顯示器顯示，試體已明顯有輕微的非線性反應，此時梁翼開始有輕微掉漆情況，而試驗進行至尖峰位移角 0.015 弧度第一迴圈時，梁上、下翼板之蓋板發生輕微掉漆情況，且梁腹亦開始掉漆，如照片 5-9 與 5-10 所示。試驗繼續進行至尖峰位移角 0.03 弧度第一迴圈時，梁翼降伏掉漆情況更加嚴重，且於柱面靠近剪力板處有輕微掉漆情況，當試驗進行至尖峰位移角 0.03 弧度第二迴圈接近正向尖峰值時，試體突然發生巨響，強度驟降，觀察試體發現，在與梁下翼板接合處之柱板內部因受拉破壞外拱，如照片 5-11 所示，此時因試驗位移接近 0.03 弧度之正向尖峰值，故試驗繼續進行，當位移接近 0.03

弧度之負向尖峰值時，試體亦發生巨響，在與梁上翼板接合處之柱板內部因受拉破壞外拱，如照片 5-12 所示，此時因試體無法提供正常強度，故終止試驗。

第五節 試驗結果與討論

圖 5-9 至圖 5-12 分別為試體 EC 與 EE 之梁端施力與總變形轉角及總塑性轉角關係圖，其中 θ 為梁柱接頭總變形轉角， θ_p 為梁柱接頭總塑性變形轉角。此結果顯示，試體 EC 之總變形轉角達 5% 弧度時，鋼梁上翼板發生斷裂，梁柱接頭總塑性轉角為 +4.11% 與 -3.96% ，如圖 5-10 所示。試體 EE 在總變形轉角達 3.0% 弧度迴圈時，柱板即發生破壞，梁塑性轉角僅達 +2.15% 與 -2.70% 弧度，如圖 5-12 所示。

試體強度計算與試驗結果亦列於表 5-1 中，其中 P_b 為試驗中梁端施力最大值， F_{pc} 為梁在柱面處含蓋板斷面達實際塑性彎矩強度時梁端所需施加之力量， F_{pr} 為梁靠近蓋板尖端處對應於實際梁塑性彎矩強度時梁端所需施加之力量。 P_b 與 F_{pc} 、 F_{pr} 之比值分別為加蓋板之最大斷面與未加蓋板之梁斷面的應變硬化係數，如表 5-3 所示。試驗結果分析顯示，試體 EC 在蓋板尖端處與柱面處之應變硬化係數分別為 1.24、1.26 與 1.03、1.05，該試體在發展塑性彎矩後才發生破壞。而試體 EE 在蓋板尖端處與柱面處之應變硬化係數分別為 1.17、1.19 與 0.97、0.99，其值與試體 EC 相比偏小。

探討兩組試體之破壞模式發現，試體 EE 的破壞發生極為突然，梁塑性轉角尚未達到 3% 弧度前，即發生柱板受梁翼板拉力產生外拱，且造成梁彎矩瞬間喪失之破壞模式，研判此破壞發生於柱板與柱內橫隔板間之電熱熔渣銲道，但實際詳細破壞情形需切開破壞位置加以證實。此破壞模式於過去相關試驗文獻[Tsai and Lin, 1992；林克強等, 2006；林克強等, 2007]中均有類似之破壞發生，應值得國內鋼結構業的重視。

表 5-1 試體梁柱桿件尺寸及參數表

Spec.	BC1	BC2
Beam Section	H 800x300x14x25	
L*(mm)	4500	
Column Section	BOX 750x750x28	
H(mm)	4000	
Diaphragm Thickness(mm)	25	
t of shear tab(mm)	22	
Bolts(M24-S10T)	2x8	
Backing Bar	Steel	
a (mm) [@]	365(T : 360、B : 362) [#]	365(T : 357、B : 362) [#]
b (mm) [@]	80(T : 82、B : 84) [#]	80(T : 79、B : 80) [#]
c (mm) [@]	250(255) [#]	250(255) [#]
d (mm) [@]	340(305) [#]	340(317) [#]
Thickness of cover plate(mm)	8	8
α	0.96	0.96

*，此梁長是指柱心至施力點中心之距離

@，長度定義如圖 5-8 所示

#，前面數值為原設計值，括弧裡的數值為實際量測值，其中 T 為上翼板，B 為下翼板

(資料來源：本研究製作)

表 5-2 實際材料強度表

Spec.	Location	F_y (MPa)	F_{yf} / F_{yw}	F_u (MPa)	F_{uf} / F_{uw}	Elongation (%)*	ϵ_f / ϵ_w	YR= F_u / F_y	YR_f / YR_w
BC1	Flange	365.92	0.97	523.31	0.99	31.22	1.18	1.43	1.02
BC2	Web	378.67		532.19		26.50		1.41	

* Gauge Length = 200 mm

(資料來源：本研究製作)

表 5-3 試體試驗強度及變形一覽表

Spec.	BC1		BC2	
	+	-	+	-
θ (% rad.)	5.00	5.00	3.01	3.00
θ_p (% rad.)	4.02	3.96	1.72	1.71
P_b (kN)	947	962	891	905
F_{Pr} (kN)	763		763	
F_{Pc} (kN)	915		915	
P_b / F_{Pr}	1.24	1.26	1.17	1.19
P_b / F_{Pc}	1.03	1.05	0.97	0.99
破壞模式	鋼梁上翼板斷裂		上、下翼板所對應柱內橫隔板之電熱熔渣鋸與柱板界面斷裂	

(資料來源：本研究製作)

鋼骨梁柱接頭橫隔板耐震性能研究

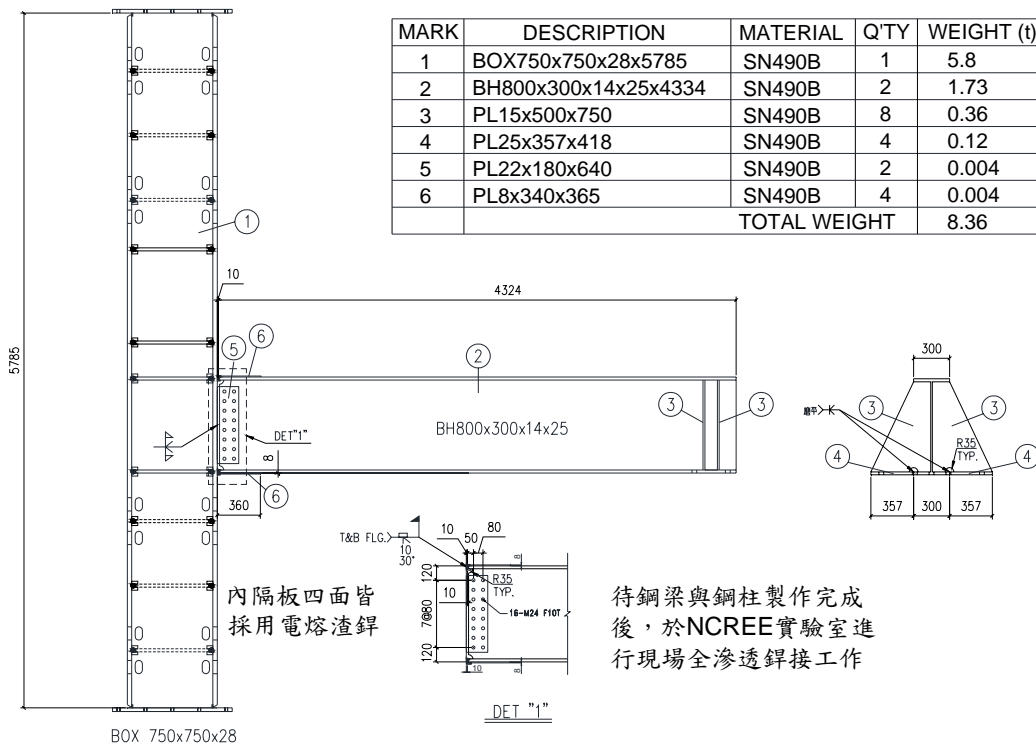


圖 5-1 實尺寸鋼結構梁柱接頭試體設計圖

(資料來源：本研究製作)

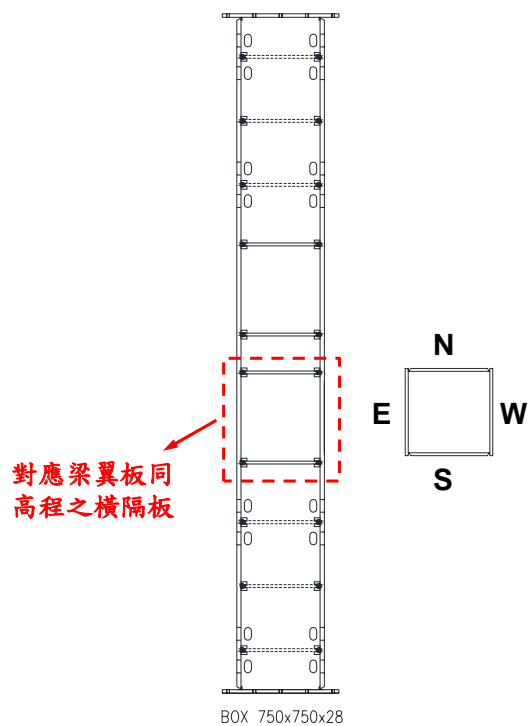


圖 5-2 箱型柱之柱面方向標示

(資料來源：本研究製作)

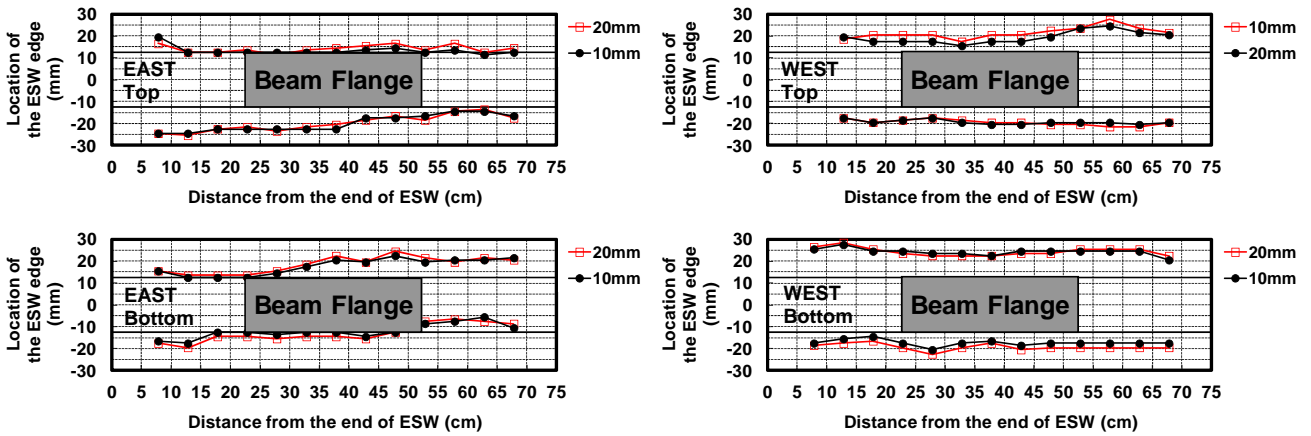


圖 5-3 箱型柱東側與西側電熱熔渣銲之熔透範圍

(資料來源：本研究製作)

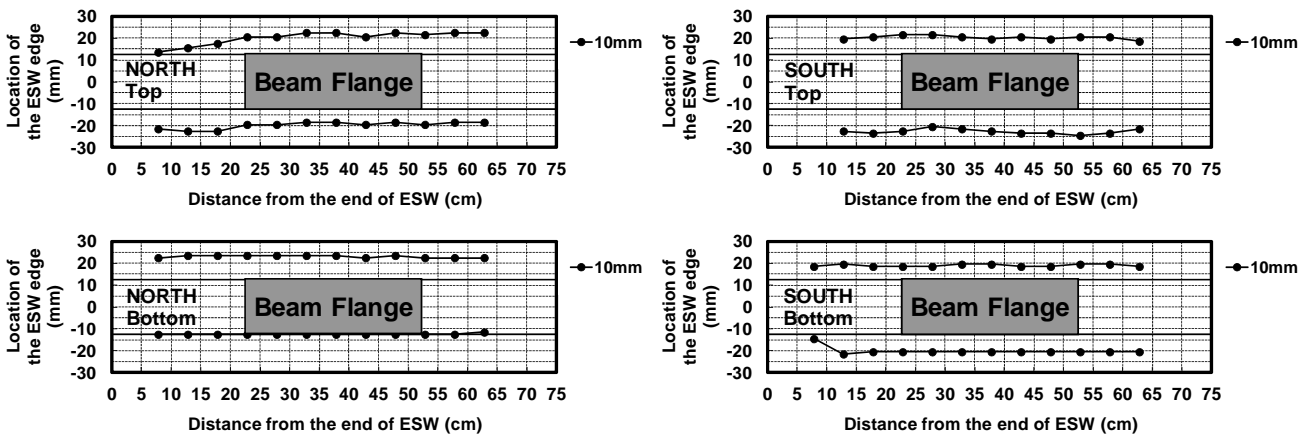


圖 5-4 箱型柱北側與南側電熱熔渣銲之熔透範圍

(資料來源：本研究製作)

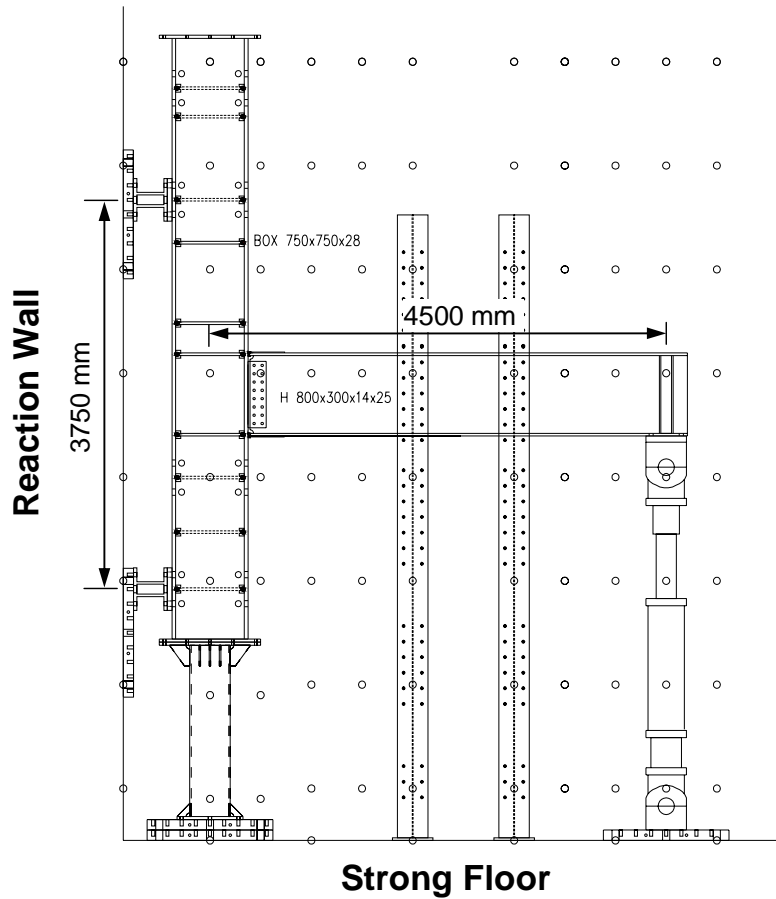


圖 5-5 試體架設圖

(資料來源：本研究製作)

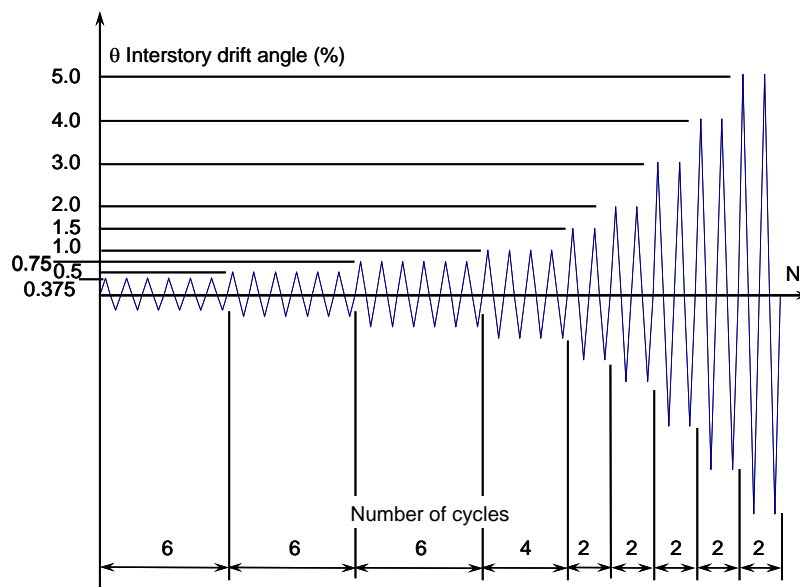


圖 5-6 試驗歷時圖

(資料來源：林克強等，2010)

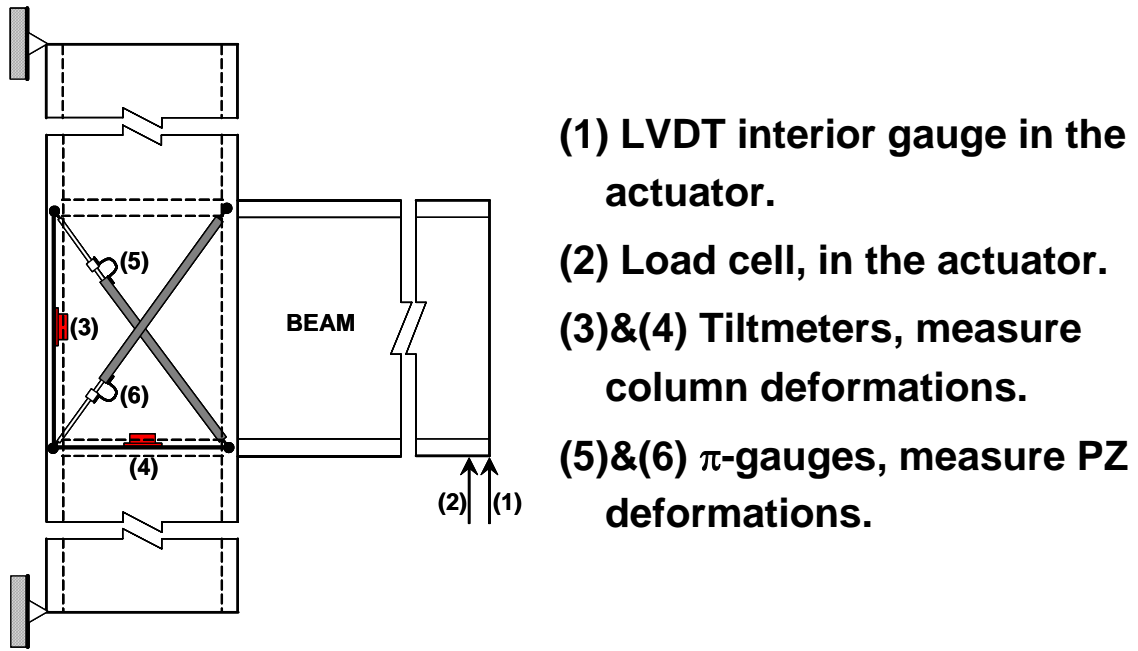


圖 5-7 梁柱交會區之量測儀器裝置圖

(資料來源：林克強等，2010)

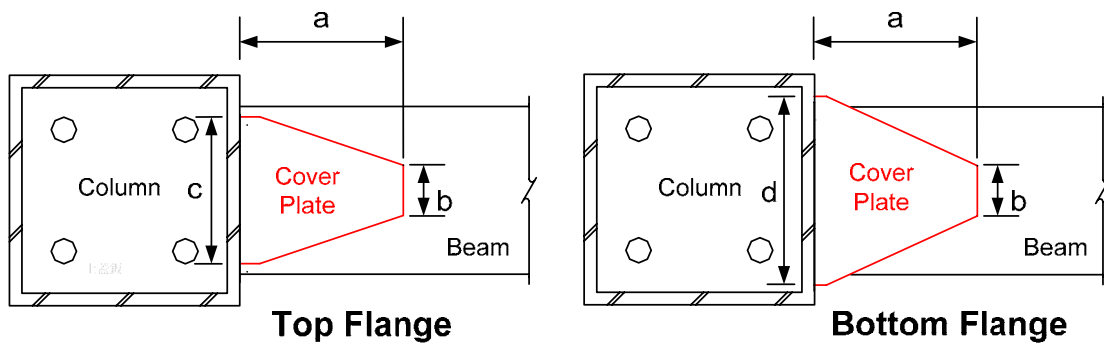


圖 5-8 梁翼蓋板之設計參數

(資料來源：林克強等，2010)

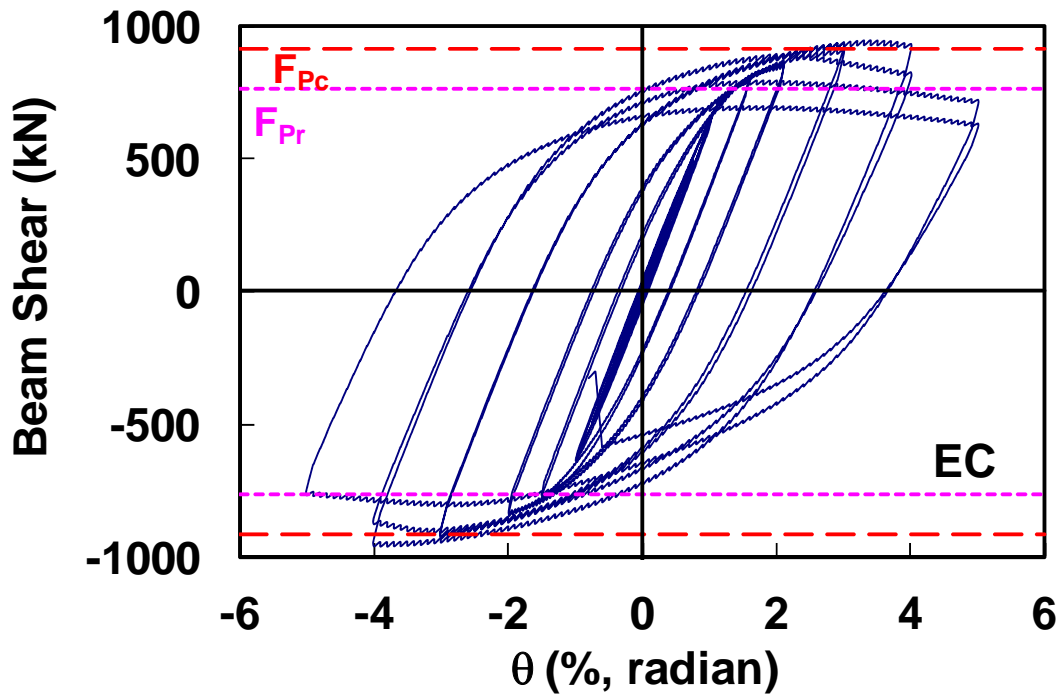


圖 5-9 試體 EC 梁端受力與總變形轉角關係圖

(資料來源：本研究製作)

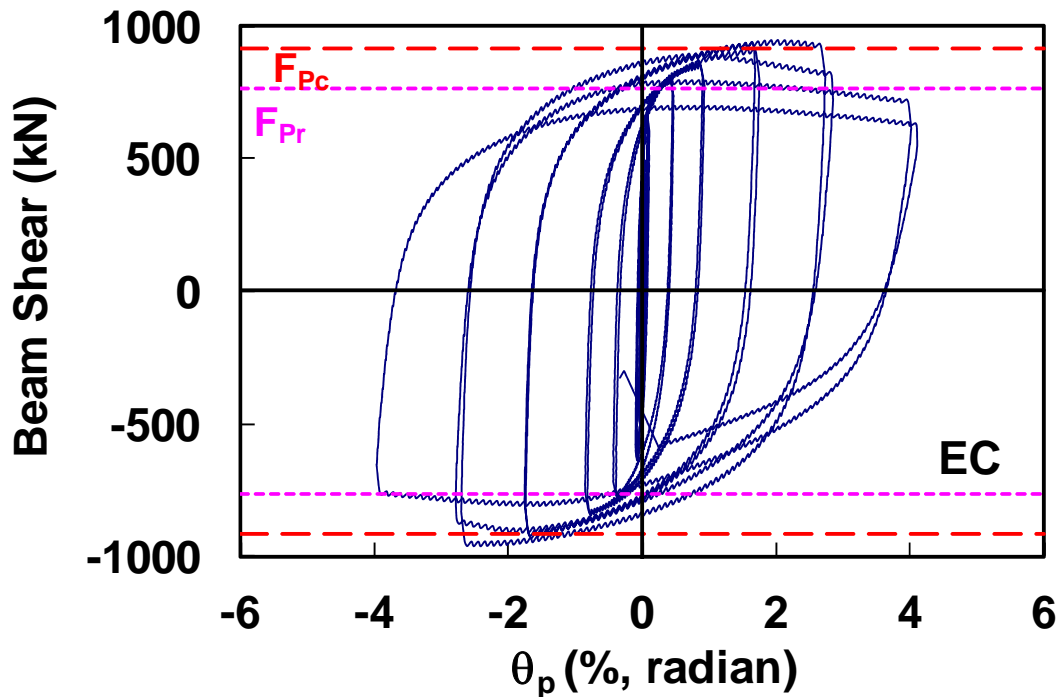


圖 5-10 試體 EC 梁端受力與總塑性變形轉角關係圖

(資料來源：本研究製作)

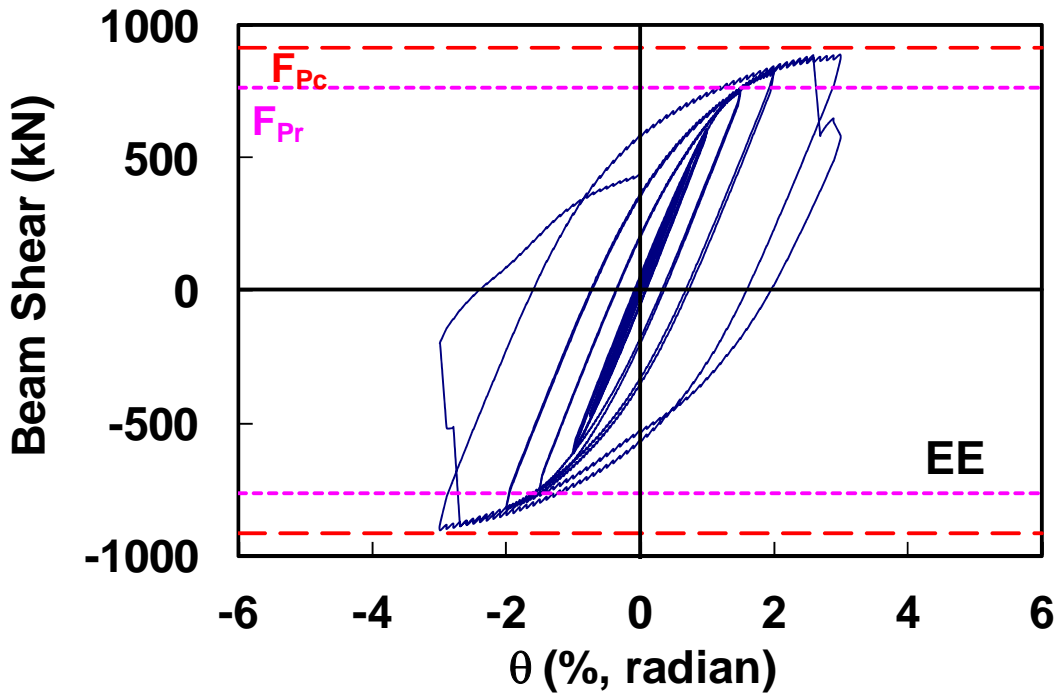


圖 5-11 試體 EE 梁端受力與總變形轉角關係圖
(資料來源：本研究製作)

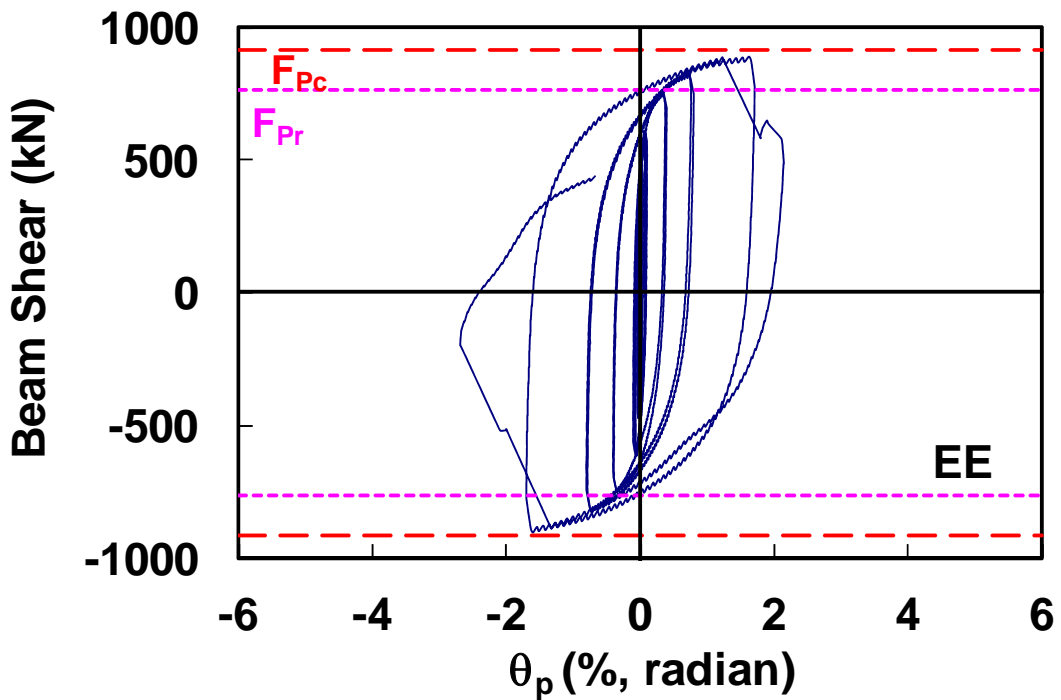
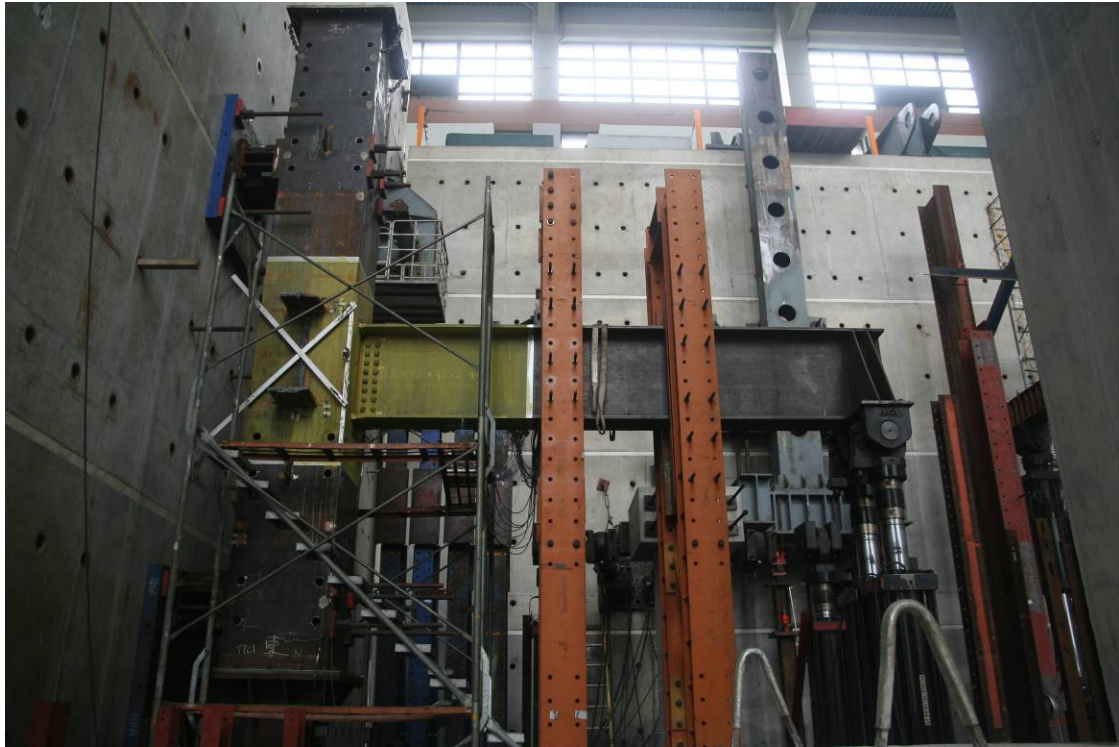
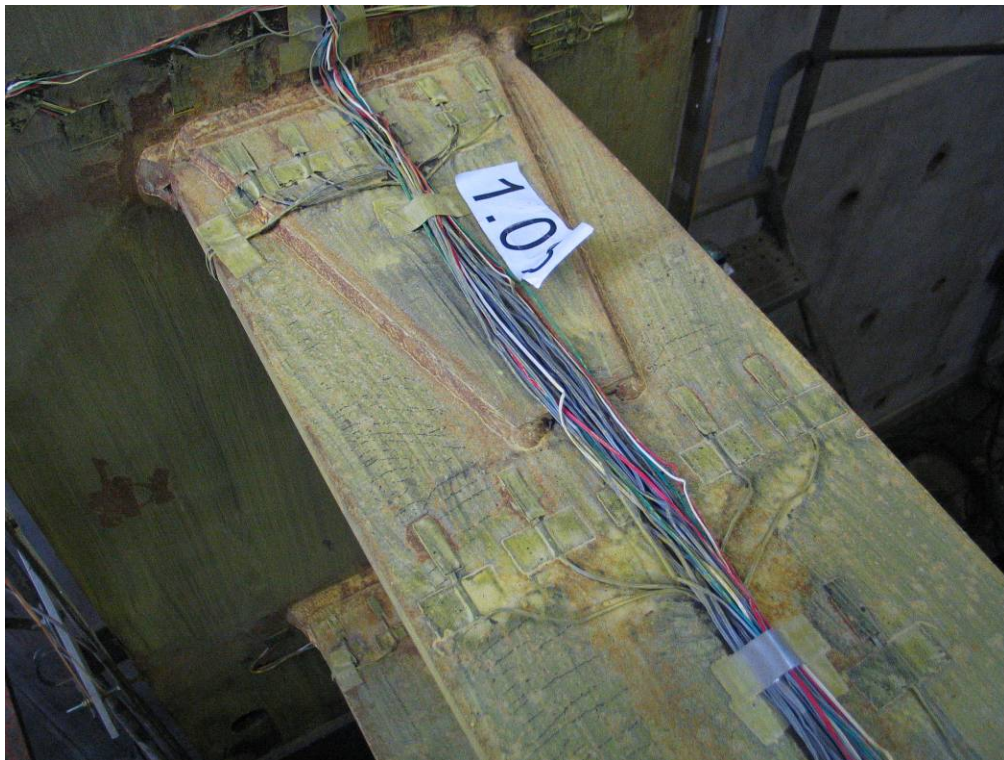


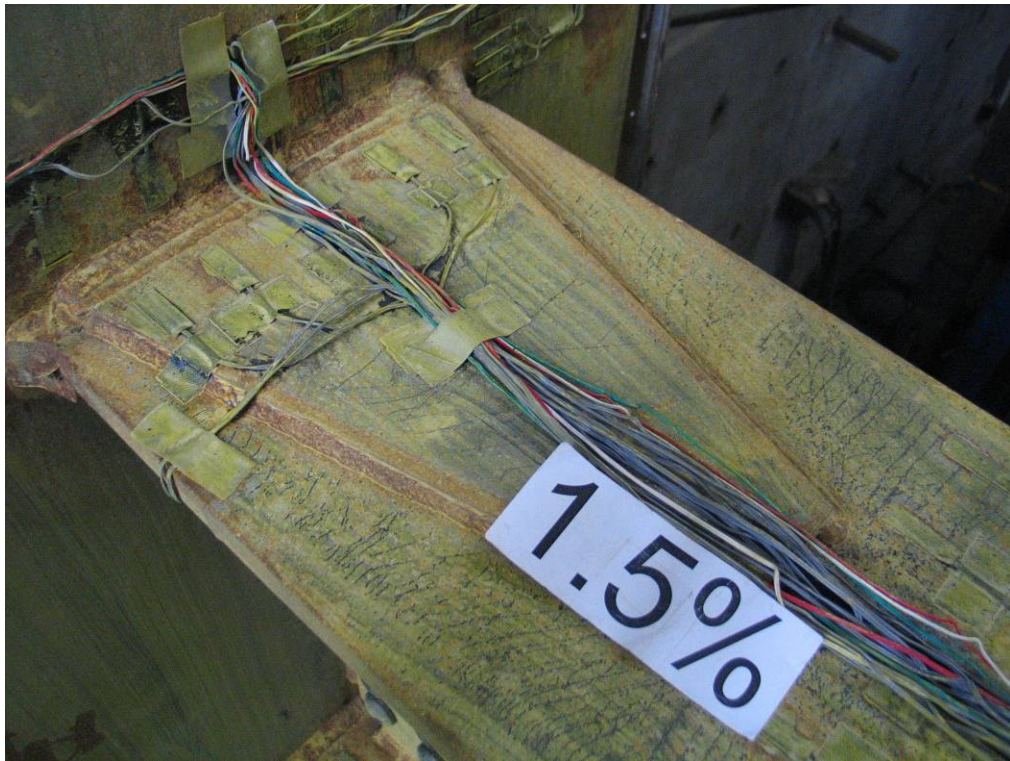
圖 5-12 試體 EE 梁端受力與總塑性變形轉角關係圖
(資料來源：本研究製作)



照片 5-1 試體架設圖
(資料來源：本研究製作)



照片 5-2 試體 EC 於尖峰位移角 0.01 弧度時，梁翼板掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 5-3 試體 EC 於尖峰位移角 0.015 弧度時，蓋板掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 5-4 試體 EC 於尖峰位移角 0.015 弧度時，梁腹板掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 5-5 試體 EC 於尖峰位移角 0.03 弧度時，蓋板尖端開裂情況
(資料來源：本研究製作)



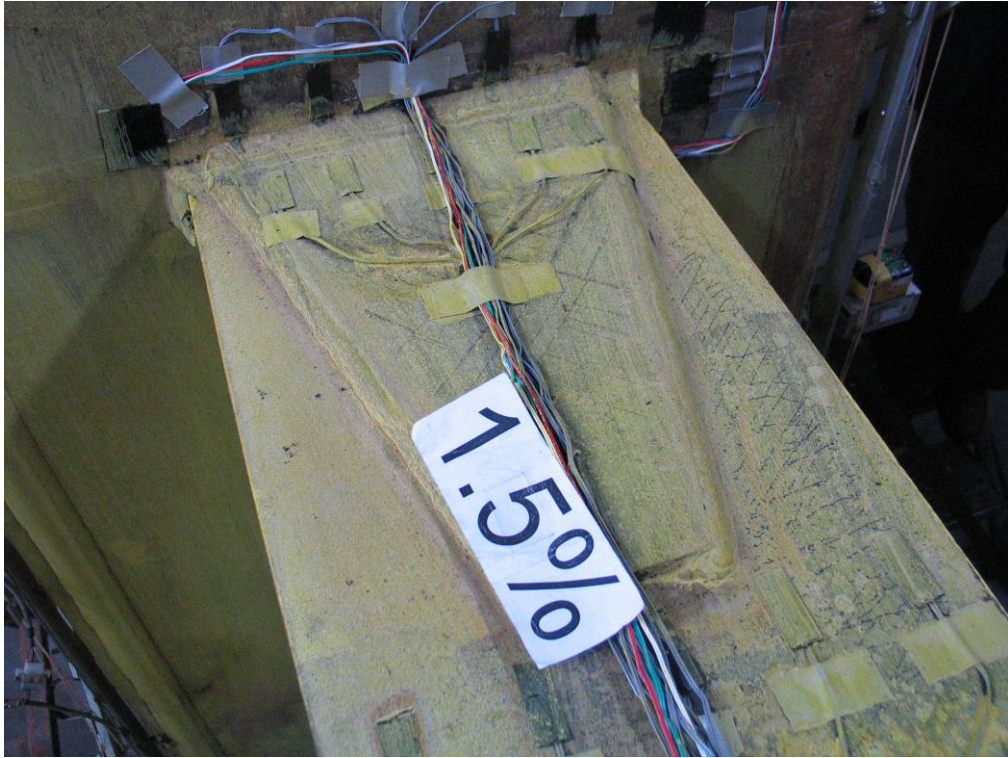
照片 5-6 試體 EC 於尖峰位移角 0.05 弧度時，梁翼板與腹板挫屈情況
(資料來源：本研究製作)



照片 5-7 試體 EC 於尖峰位移角 0.05 弧度時，蓋板銲道開裂情況
(資料來源：本研究製作)



照片 5-8 試體 EC 於尖峰位移角 0.05 弧度第二迴圈時，上翼板斷裂情況
(資料來源：本研究製作)



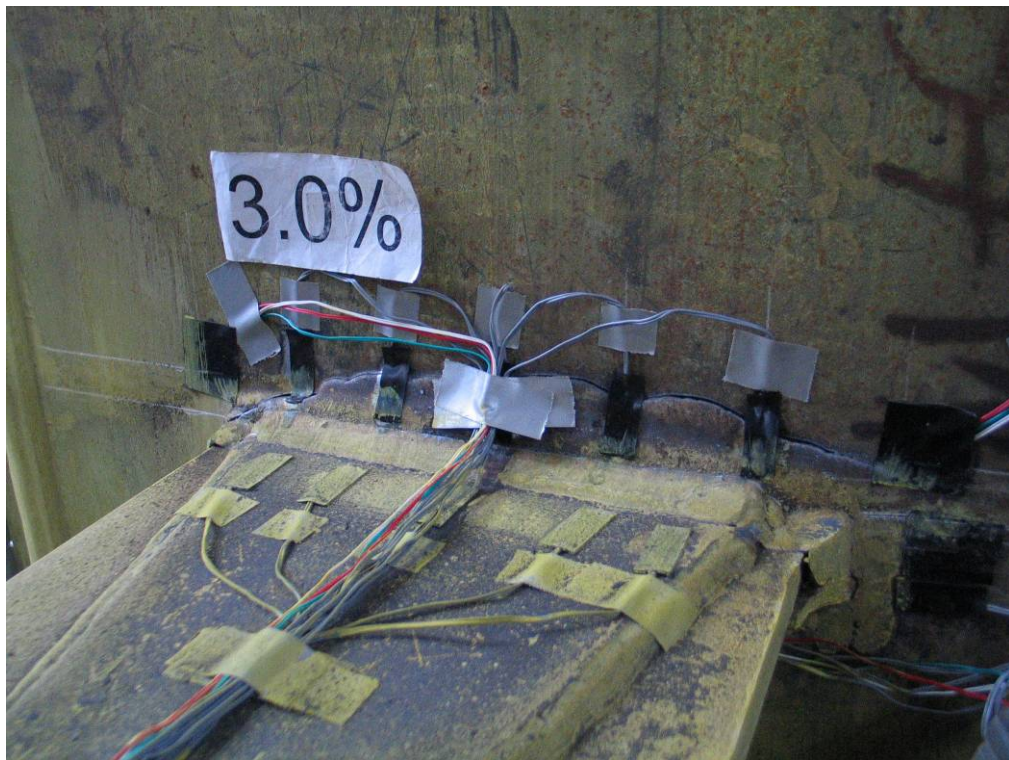
照片 5-9 試體 EE 於尖峰位移角 0.015 弧度時，蓋板掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 5-10 試體 EE 於尖峰位移角 0.015 弧度時，梁腹板掉漆情況
(資料來源：本研究製作)



照片 5-11 試體 EE 於尖峰位移角 0.03 弧度時，對應下翼板之柱板受拉拱起情況
(資料來源：本研究製作)



照片 5-12 試體 EE 於尖峰位移角 0.03 弧度時，對應上翼板之柱板受拉拱起情況
(資料來源：本研究製作)

第六章 結論與建議

第一節 結論

8. 由柱內橫隔板電熱熔渣鐸道 (ESW) 元件之有限元素模型分析結果顯示，當柱內 ESW 位置偏差或柱外梁翼板鐸接位置偏差時，其累積塑性應變(PEEQ)指標明顯提升，且裂縫尖端開口位移(Opening)指標亦有明顯提升之趨勢。
9. 本研究採用變換 ESW 鐸道直徑大小之參數，分析結果顯示當 ESW 鐸道直徑愈小時，其 PEEQ 與 Opening 指標有上升之趨勢。
10. 針對 28mm 厚柱板與 25mm 厚柱內橫隔板所形成之 25x25mm 熔填池，初步對電熱熔渣鐸之製作程序、超音波檢測與剖開驗證等結果進一步比對，可獲得以下結論，(1) 分別刻意將電熱熔渣鐸導管對熔填池中心偏移 3mm 或不偏移之鐸接，無法獲得相對應之電熱熔渣鐸道偏移結果，(2) 不同直束探頭尺寸與頻率之超音波熔線位置檢測與實際切開驗證結果比較顯示，10mm 直徑探頭配合 5MHz 頻率獲得較準確之結果，採用 20mm 直徑探頭之掃描結果較不理想，20mm 探頭配合 5MHz 頻率之熔線位置檢測結果誤差達 10mm。此超音波熔線位置檢測結果應與檢測人員有關，但本研究未將此參數納入探討。
11. 由 8 組柱內橫隔板 ESW 元件試體之試驗結果比較顯示，當柱內橫隔板之 ESW 鐸道或柱外梁翼板鐸接位置發生偏差時，其柱內橫隔板之應變有增加之趨勢，尤其當柱外梁翼板與柱內橫隔板偏差 25mm 時，柱板容易因受梁翼板之拉力而外拱破壞，且此破壞為承載力瞬間突然喪失之脆性破壞。
12. 由實尺寸梁柱接頭試驗結果顯示，當梁翼板與柱內橫隔板高程偏心 25mm 時，梁塑性轉角尚未達到 3% 弧度前，即發生柱板受梁翼板拉力產生外拱，且造成梁彎矩瞬間喪失之破壞模式，研判此破壞發生於柱板與柱內橫隔板間之電熱熔渣鐸鐸道，但實際詳細破壞情形需切開破壞位置加以證實；另一組梁翼板鐸接高程與柱內橫隔板高程一致之試體試驗結果顯示，梁塑性轉角能力可達 4% 弧度。在此也特別說明，在製作此兩組試體梁所對應之柱內橫隔板與柱板接合之電熱熔渣鐸鐸道

時，以刻意將電熱熔渣銲之銲接導管偏移，故意製造電熱熔渣銲偏斜之熔透不足銲道，但於銲道製作完成後由超音波檢測結果顯示，電熱熔渣銲之銲接邊緣並未發現明顯熔透不足現象，故本實尺寸試體無法獲得因電熱熔渣銲銲道偏斜之熔透不足的試驗條件。

13. 本研究所採用之電熱熔渣銲銲道偏心情形皆依超音波檢測之結果為準，但柱板與柱內橫隔板間之電熱熔渣銲銲道之真實位置與熔線位置，尚待後續將電熱熔渣銲元件試體與實尺寸梁柱接頭試體在該銲道位置切割，一方面驗證超音波檢測熔線位置之準確性，另一方面可藉由巨觀金相試片觀察柱板受拉外拱破壞情況，以研判造成破壞之因素。
14. 為獲得國內鋼構業之電熱熔渣銲製造品質與超音波檢測精度之實際情形，尚需與更多鋼構廠合作，針對電熱熔渣銲製作流程與超音波檢測技術進行調查研究，以增加樣本數與可靠度。

第二節 建議

根據本研究成果，針對鋼骨箱型柱柱內橫隔板製作實務中，電熱熔渣銲之製造與超音波檢測技術，提出下列具體建議。以下分別從立即可行建議加以列舉。

建議一

鋼構施工偏差：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：春源鋼鐵工業股份有限公司

於鋼構實務中避免柱內橫隔板與柱外梁翼板之施工偏差以降低梁柱接頭發生電熱熔渣銲銲道破壞之機率。

建議二

鋼構施工偏差：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：春源鋼鐵工業股份有限公司

於施作箱型柱內電熱熔渣銲時，應符合製造商提供之電熱熔渣銲銲接程序，以獲得穩定銲道品質。

建議三

鋼構施工偏差：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：春源鋼鐵工業股份有限公司

當施作箱型柱內電熱熔渣銲工作完成時，後續超音波檢測不應只檢測電熱熔渣銲之熔幅範圍是否足夠，尚需配合真實柱內橫隔板位置放樣於柱板上，確認電熱熔渣銲之熔幅範圍足以涵蓋並超過橫隔板之厚度。

附錄一 專家座談會會議紀錄與簡報

建研所 100 年度研究案「鋼骨梁柱接頭橫隔板耐震性能研究」計畫

第一次專家座談會議紀錄

- 一、時間：100 年 5 月 20 日(星期五)下午 3 時 30 分
- 二、地點：國家地震工程研究中心會議室 410
- 三、主持人：蔡教授克銓 記錄：莊勝智
- 四、出席人員：林克強、許協隆、陳誠直、鄭錦銅、陳垂欣、張惠雲、周中哲、陳俊杉、莊勝智、林志翰、李昭賢
- 五、主席致詞：(略)
- 六、報告人簡報：(略)
- 七、綜合討論：
 - 1、鄭教授錦銅：
 - (1) 在 ESW 元件試體之有限元素模擬，建議須先確認 ESW 與熱影響區材料之正確性。
 - 2、陳教授俊杉：
 - (1) 本研究使用 PEEQ 作為 ESW 元件破壞之指標以內，應屬合宜，但能再加上能量概念會更好。
 - (2) 對於 ESW 元件之破壞是屬於 Initialization Criteria 或 Crack Criteria，此兩種準則是不相同，要特別注意。
 - 3、周教授中哲：
 - (1) 簡報中以 $PEEQ = 0.01$ 作為 ESW 破裂之準則是否不夠準確，PEEQ 是否隨著改變柱板厚度、翼板厚度等因素而改變，不能只使用一組梁柱接頭試驗之結果作為 ESW 破裂之準則。
 - 4、許教授協隆：
 - (1) 不能只使用一組梁柱接頭試驗之結果作為 ESW 破裂之準則，建議採用多組電熔渣銲破壞之梁柱試體做為參考。
 - (2) 鋼構廠製造 BOX 柱時，其 ESW 品質與流程是否一致，要特別注意。

5、張教授惠雲：

- (1) 於鋼構廠製造 ESW 元件試體時，要特別注意如何控制 ESW 熔透直徑大小與偏心之問題。

6、主持人蔡教授克銓回應：

- (1) 針對 ESW 與熱影響區材料之正確性，目前已完成部份材料試片，對此一部分試驗應盡快完成。
- (2) 針對 Initialization Criteria 與 Crack Criteria，將會釐清兩種準則之不同處，並將適當準則加入 ESW 元件模型中。
- (3) 則據本次專家座談之建議，盡快決定 ESW 元件試體之尺寸與變化參數。
- (4) 對於試體製造部分，會盡快與鋼構廠聯絡並討論試體製造細節，包含 ESW 鐸道直徑大小、ESW 熔融範圍與 ESW 偏心等參數。
- (5) 經建研所告知，因下半年度建研所實驗室較為忙碌，加上本計劃之工作團隊對 NCREE 實驗場較為熟悉，故本計劃之相關試驗將於 NCREE 實驗場進行，其本計劃一般事務費中之設備使用費將挪給 NCREE 實驗場使用。

八、散會：下午 16 時 40 分。

建研所 100 年度研究案「鋼骨梁柱接頭橫隔板耐震性能研究」計畫
第二次專家座談會議紀錄

八、 時間：100 年 9 月 15 日

九、 地點：國家地震工程研究中心會議室 410

十、 主持人：蔡教授克銓 記錄：李昭賢、莊勝智

十一、 出席人員：林克強、許協隆、陳誠直、周中哲、陳俊杉、莊勝智、林志翰、
李昭賢

十二、 主席致詞：(略)

十三、 報告人簡報：(略)

十四、 綜合討論：

1、陳教授誠直：

- (1) 本研究取 ESW 銲道、其週遭的熱影響區(HAZ)與柱翼板等區域的材料製作 CNT 試片，建議透過有限元素模型的模擬與 CNT 試驗的比對，調整分析所用之材料模型使分析結果接近試驗，藉此可求得 ESW 銲道、HAZ 與柱翼板等區域的應力應變關係。
- (2) 從本研究的硬度試驗與 Charpy V-Notch 衝擊試驗的結果可見，材料的硬度確實影響其韌性，建議將此影響關係定量化。
- (3) 本研究已進行一系列的 ESW 銲道 UT 檢測試驗、ESW 銲道與週遭材料之硬度試驗與 Charpy V-Notch 衝擊試驗，這些資料相當寶貴，應將之詳實記錄研究報告中。其它諸如從材料巨觀切片上金屬顏色之變化或是以硬度變化為參考所決定 HAZ 範圍的細節，都應詳實記錄。

2、陳教授俊杉：

- (1) 本研究使用有限元素方法來模擬 CNT 試驗與元件試驗等，須進行有限元素模型之收斂性探討，並將之詳實記錄。

- (2) 本研究進行 CNT 試片的單向拉伸試驗並考慮 stress modified critical strain (SMCS) model 來預測梁柱接頭 ESW 鐸道的破壞。建議未來應考慮各種不同的破壞預測理論，儘量考慮其他各種不同的破壞準則(fracture index)，如習見的 J -integral 與 α 等

3、周教授中哲：

- (1) 本研究使用之 ESW 元件試驗屬於單向拉伸試驗，但梁柱接頭試驗卻規劃以反覆加載試驗(cyclic test)進行，此兩項試驗方法之不同是否影響其關聯性？
- (2) 未來若針對 ESW 元件試體進行材料試驗，建議可採用反覆加載型式的試片試驗，以確立材料在反覆加載的情況下的特性。

4、許教授協隆：

- (1) ESW 之高入熱量對柱翼板會產生嚴重熱影響，使鋼材脆化，未來可使用較厚之柱板，以減低熱影響之效應，同時因使用較厚之柱板，其 ESW 鐸道之空間較大，可嘗試增加 ESW 之偏心量進行後續研究。。

6、主持人蔡教授克銓回應：

- (1) 本研究進行硬度試驗之主要目的乃是藉由巨觀切片上 ESW 與其周遭區域裡硬度的變化來定義母材上熱影響區的範圍，並將熱影響區建置於模擬元件試驗與梁柱接頭試驗的有限元素模型中。
- (2) ESW 鐸道 UT 檢測試驗結果顯示，現行 UT 檢測僅進行 ESW 熔融範圍大小有其盲點。本研究中發現不少熔融範圍足夠但熔融位置偏離的例子，此類狀況仍有可能造成 ESW 鐸道的瑕疵。建議未來製造時應將內隔板所在位置標示於柱翼板外側，且在 UT 檢測時將熔融範圍與內隔板位置做比對，檢測時應並重熔融範圍與位置。

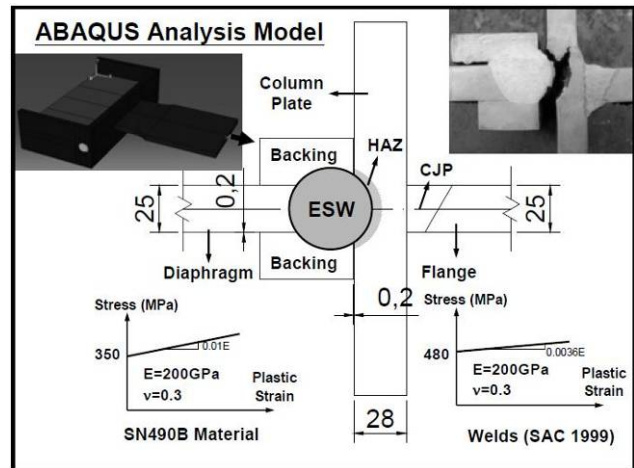
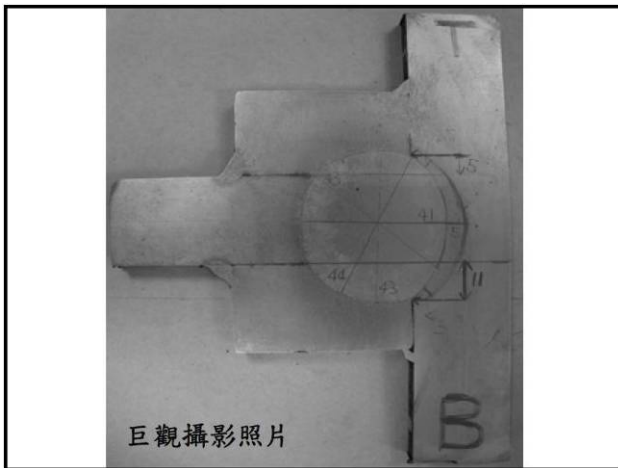
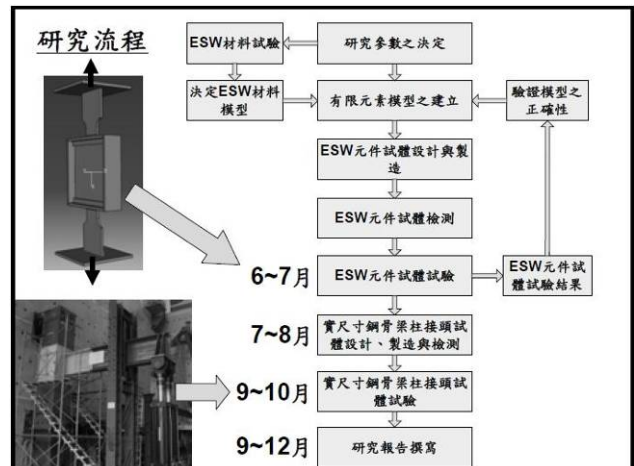
- (3) 本研究中所發現之 ESW 銲接技術在現行鋼構製造與 UT 檢測上的各項缺失與盲點以及其改進方法之建議，未來應透過舉辦座談會或研討會之型式與國內業界工程師及鋼構廠等進行交流。
- (4) 未來將針對試驗過後的 ESW 元件試體，取其未進入降伏的區域進行各類材料試驗，包括巨觀腐蝕切片、UT 檢測試驗、硬度試驗、材料拉伸試驗、Charpy V-Notch 衝擊試驗與 CNT 試驗。其中材料拉伸試驗與 CNT 試驗將會考慮使用反覆加載之型式。此外，亦在梁柱接頭試體中柱構件內部多銲了幾塊內隔板，以供未來進行材料試驗之用。

八、散會：下午 16 時 40 分。

內政部建築研究所100年度
建築先進技術創新開發與推廣應用計畫
協同研究計畫
投標第3案：
「鋼骨梁柱接頭橫隔板耐震性能研究」
專家座談會議

協同計畫主持人：台大土木系
蔡克銓 教授

中華民國 100 年 5 月 20 日

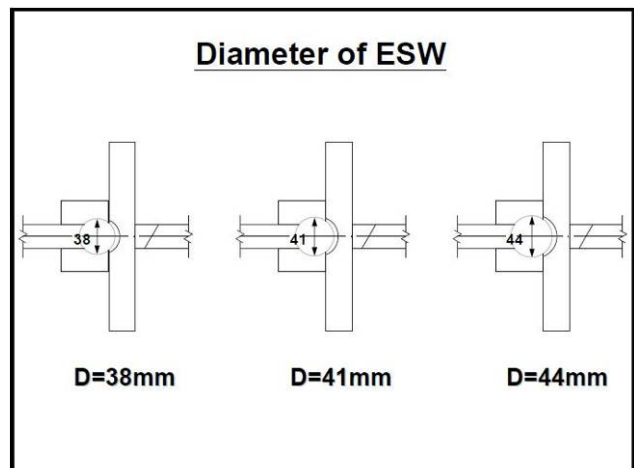


Analysis Parameters of ESW

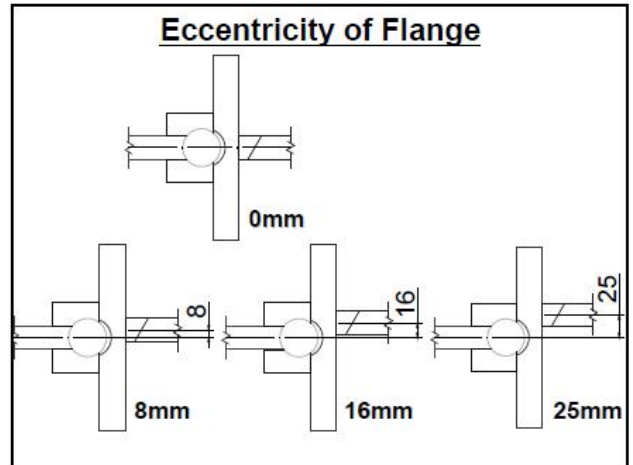
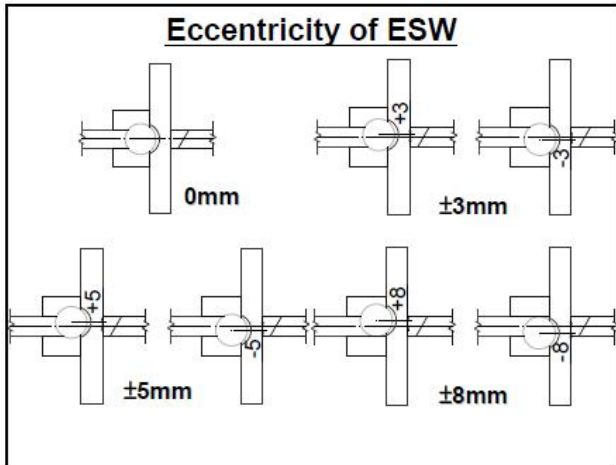
Diameter of ESW : 38mm, 41mm, 44mm

Eccentricity of ESW : 0, $\pm 3\text{mm}$, $\pm 5\text{mm}$, $\pm 8\text{mm}$

Eccentricity of Flange : 0, 8mm(32%),
16mm(64%), 25mm(100%)



鋼骨梁柱接頭橫隔板耐震性能研究



$\alpha F_y A_f \quad \alpha = ?$

由梁翼傳入柱內之彎矩約佔總彎矩95%

由梁翼傳入柱內之彎矩約佔總彎矩95%

假設 $Z_f / Z = 0.7$

SN490B之應變硬化假設為1.25

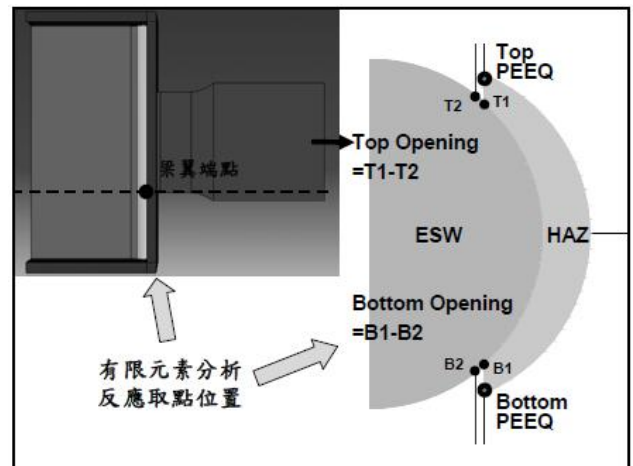
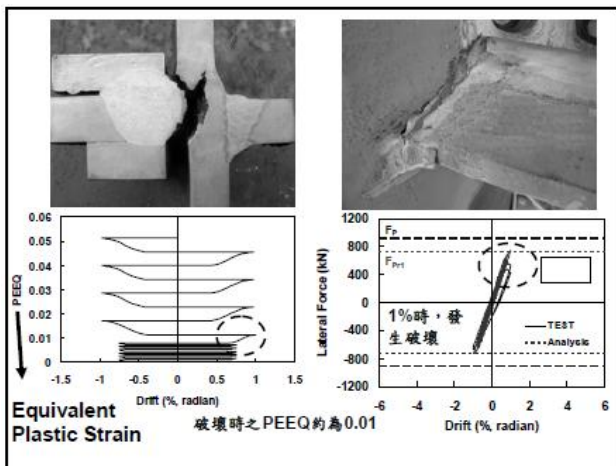
$(0.95/0.7) \times 1.25 F_y A_f = 1.7 F_y A_f$

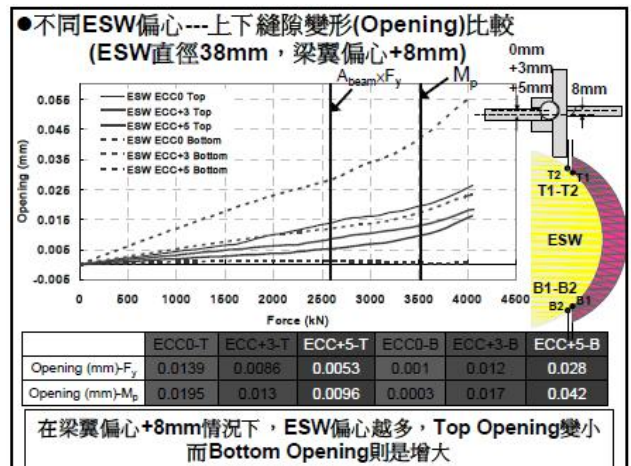
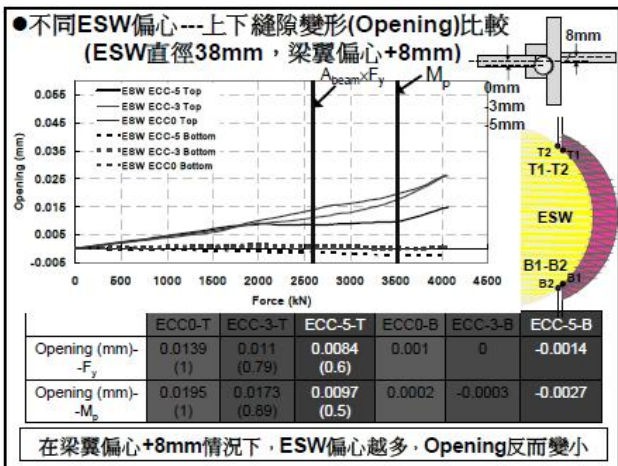
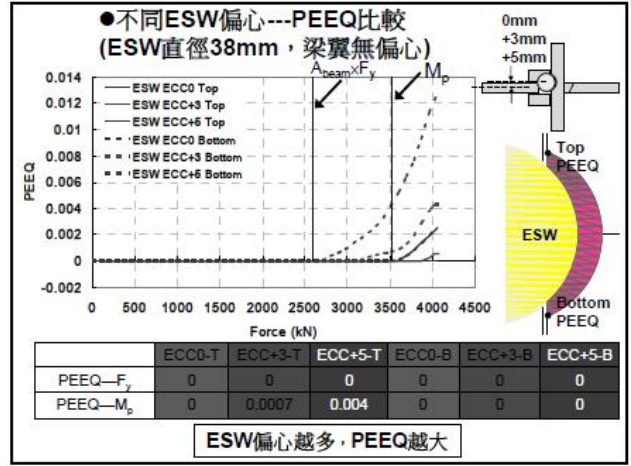
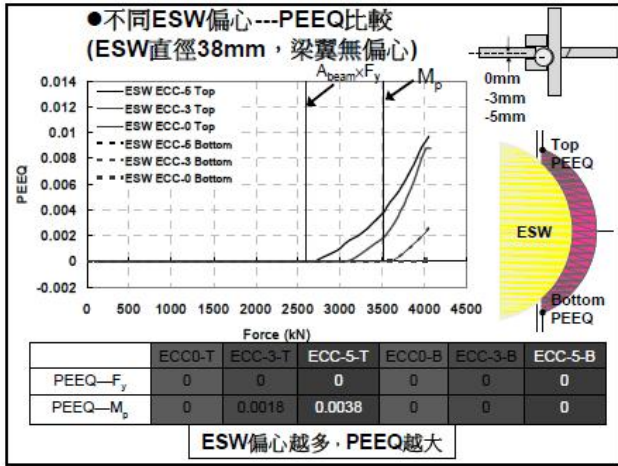
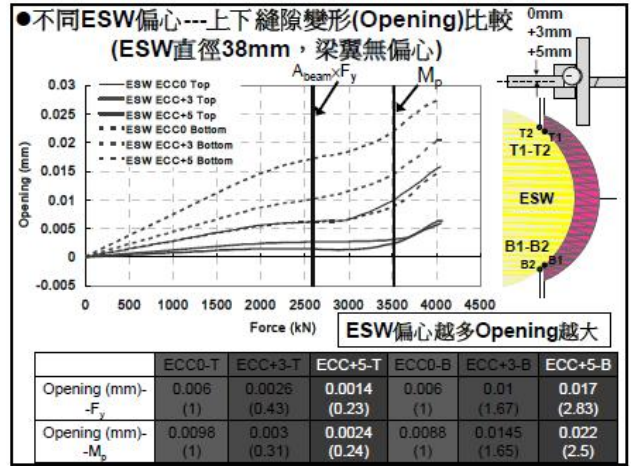
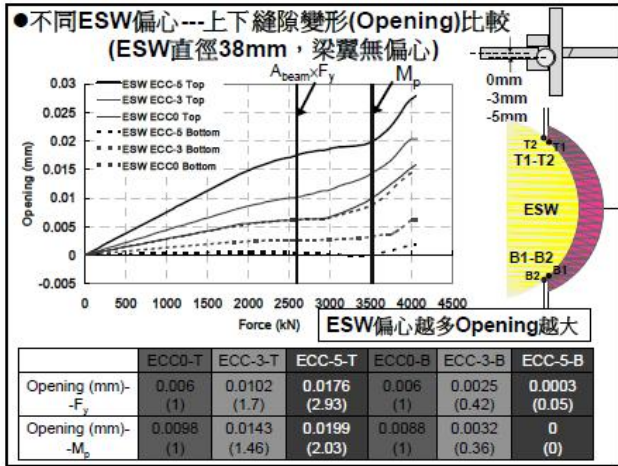
Force

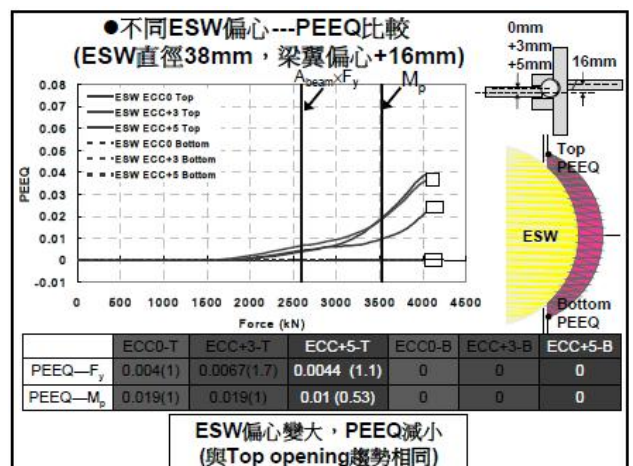
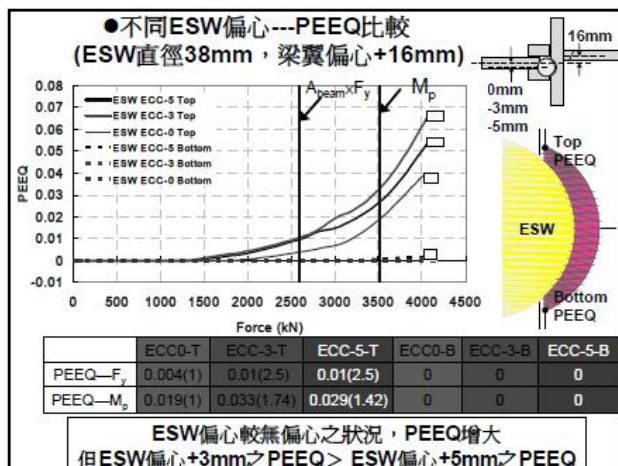
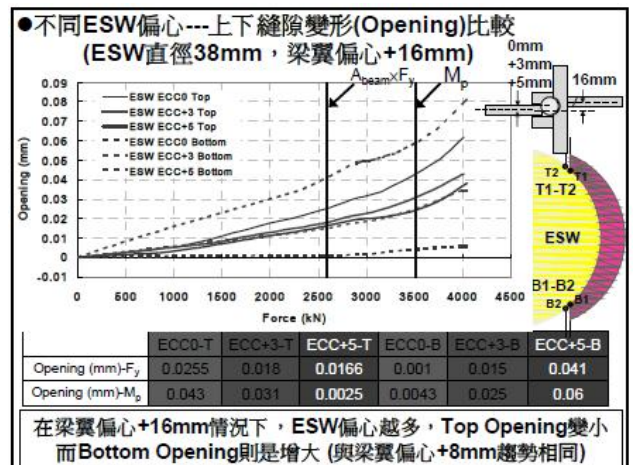
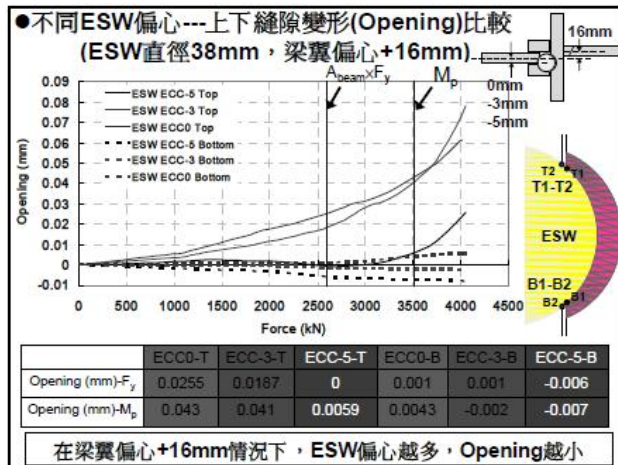
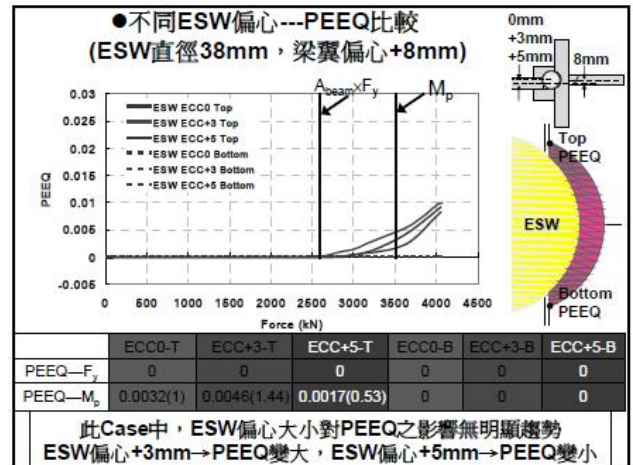
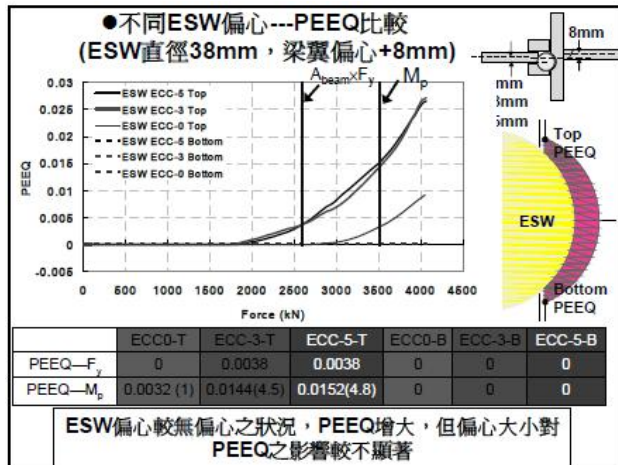
Beam : RH 808x302x16x30
L : 4250 mm
Column : BOX 900x900x25
H : 4000 mm

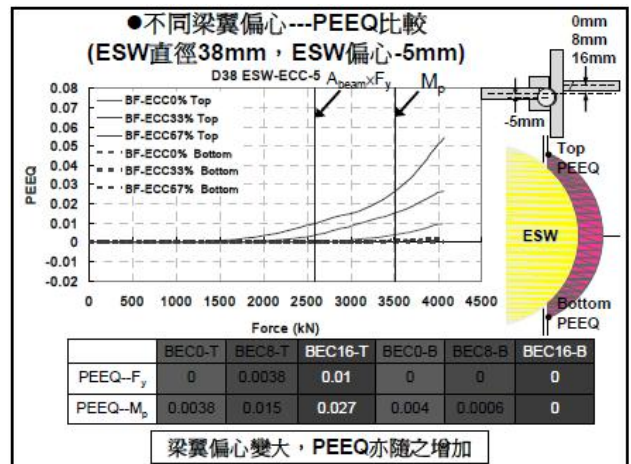
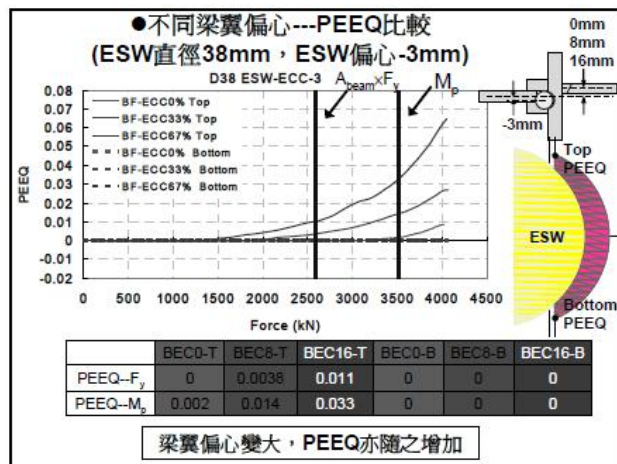
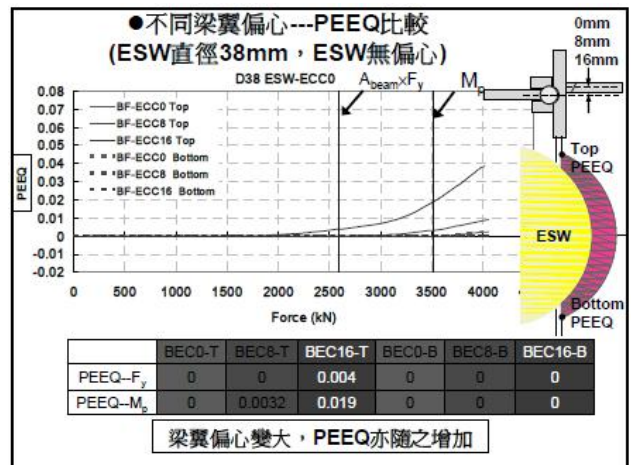
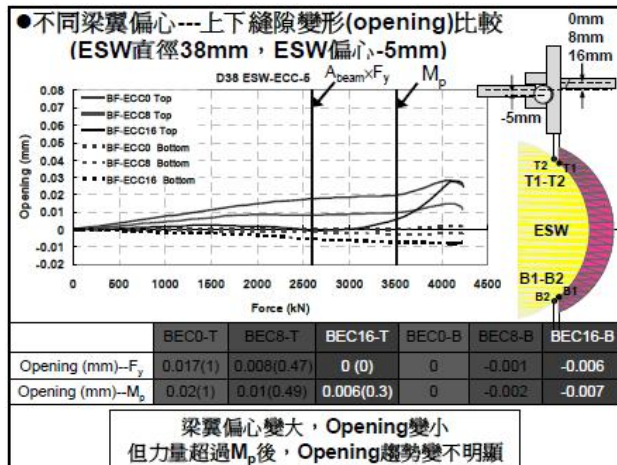
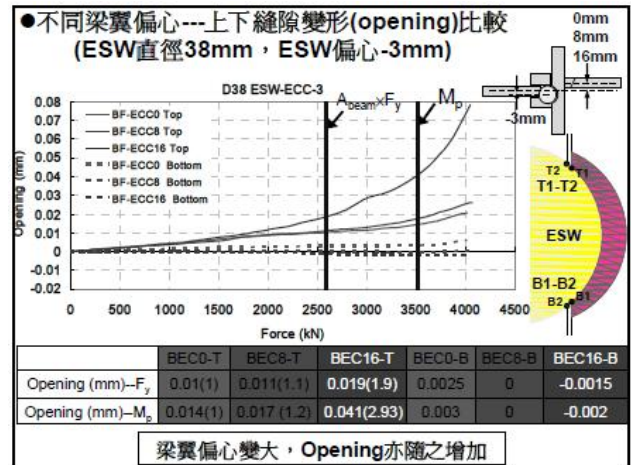
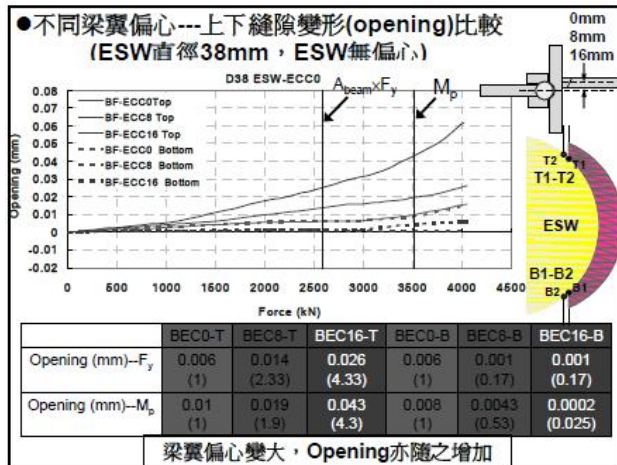
Force

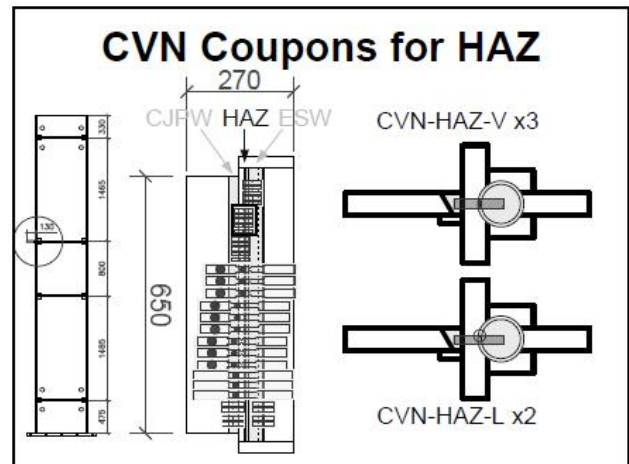
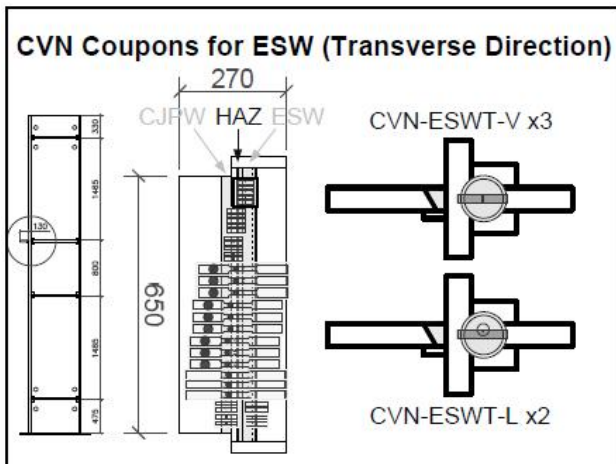
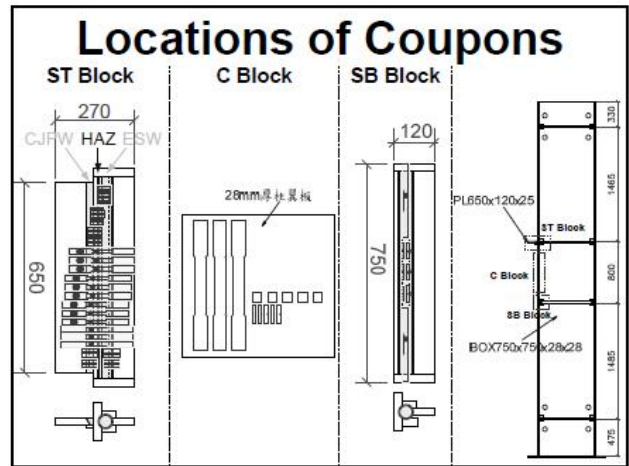
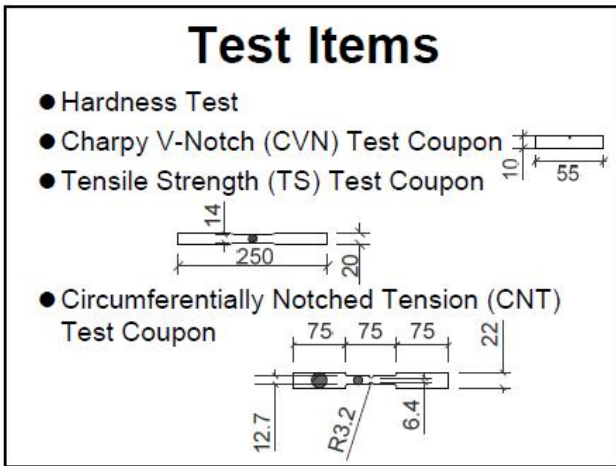
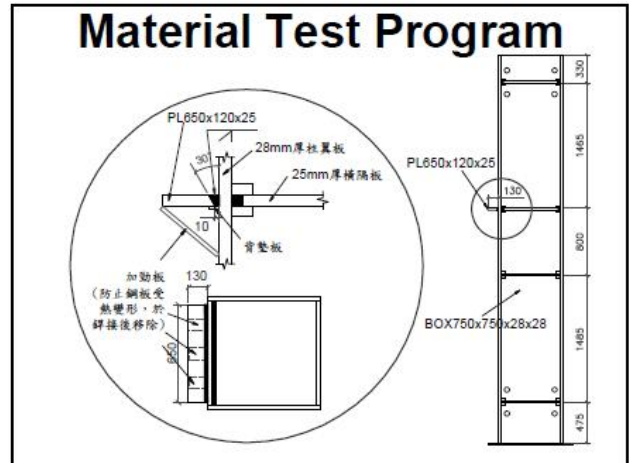
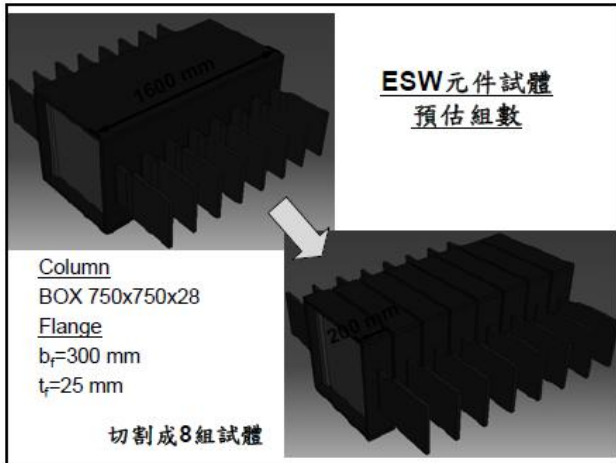
Beam-to-Column Analysis Model

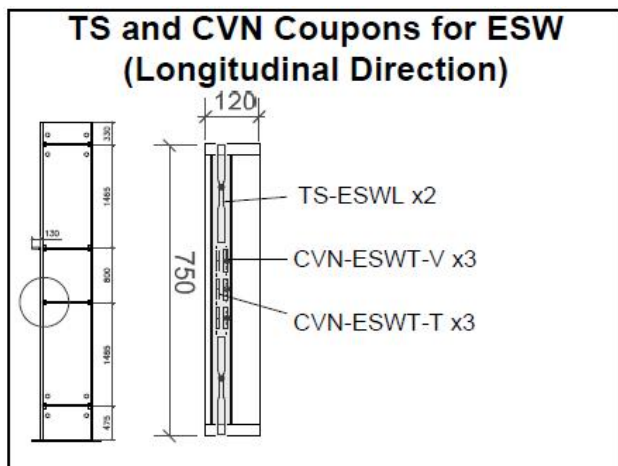
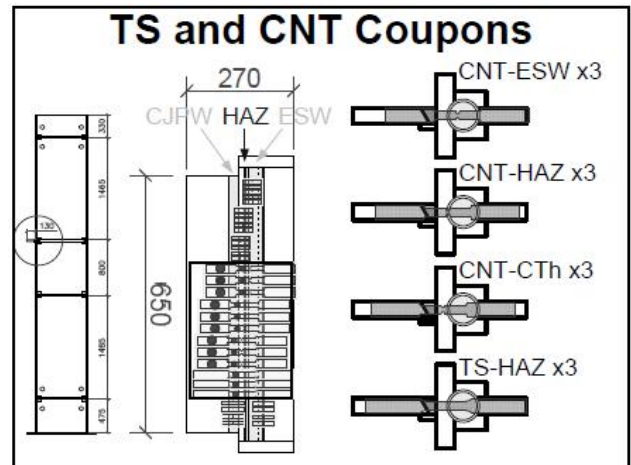
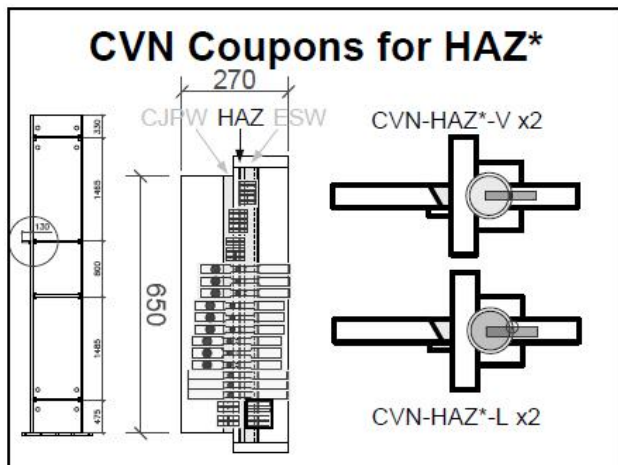
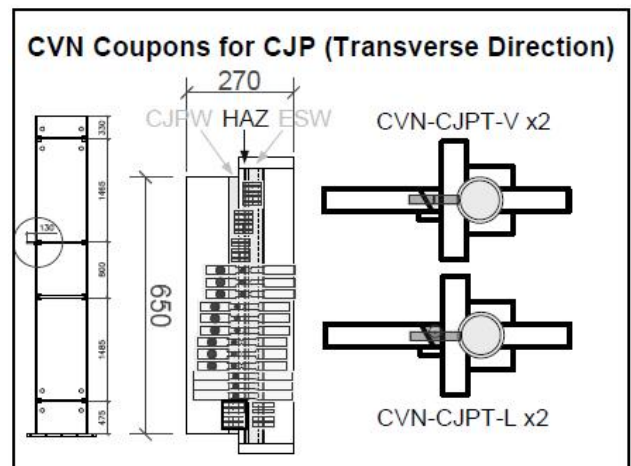
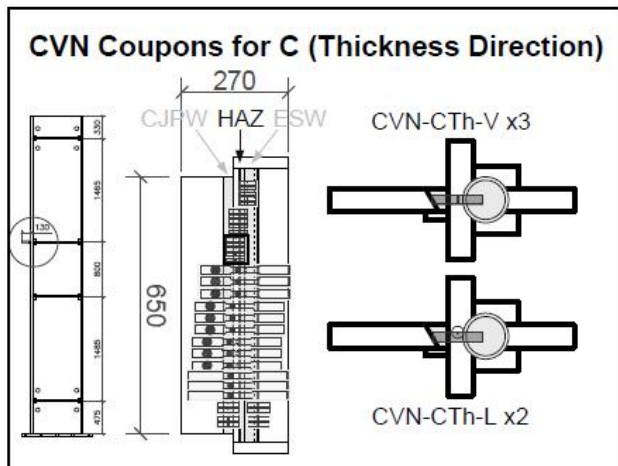






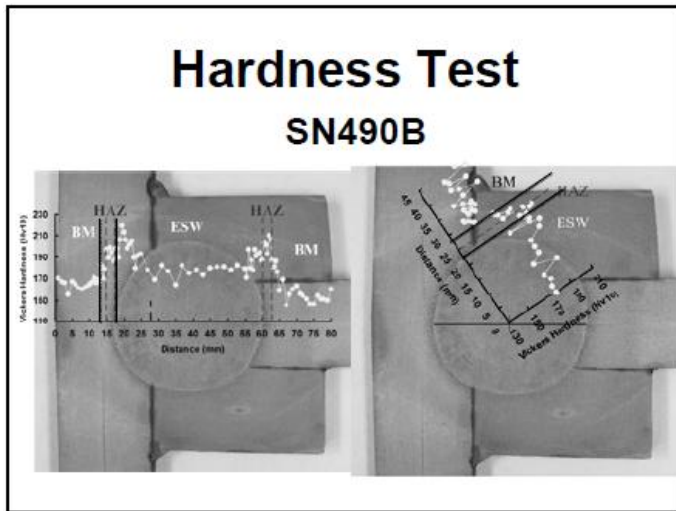






Dimensions

Section Cut	h_T	h_B	w_1	w_{HAZ-C}	w_{HAZ-T}	w_{HAZ-B}	d_1	d_2	d_3	d_4
SC-SB1	17	16	14	4	2	2	44	44	43	43
SC-SB2	19	14	14	4	2	2	42	43	43	44
SC-SB3	18	15	16	4	2	2	43	44	43	43
SC-SB4	18	13	16	4	3	3	44	44	46	46

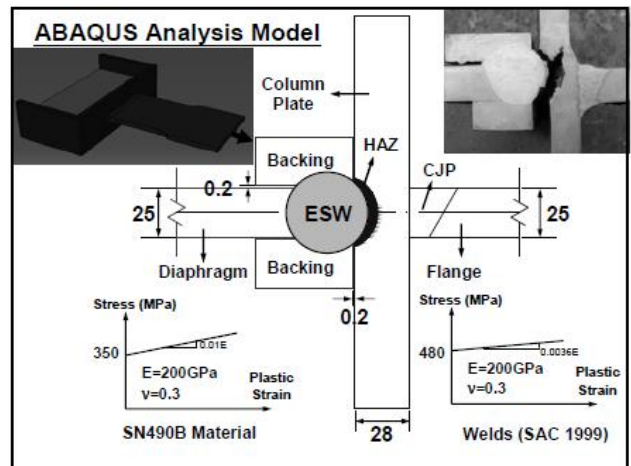
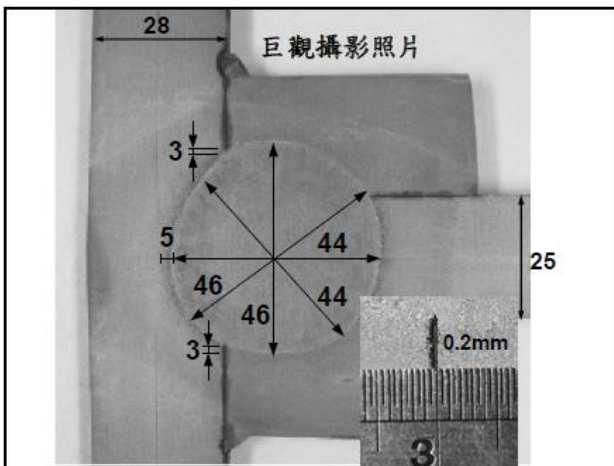
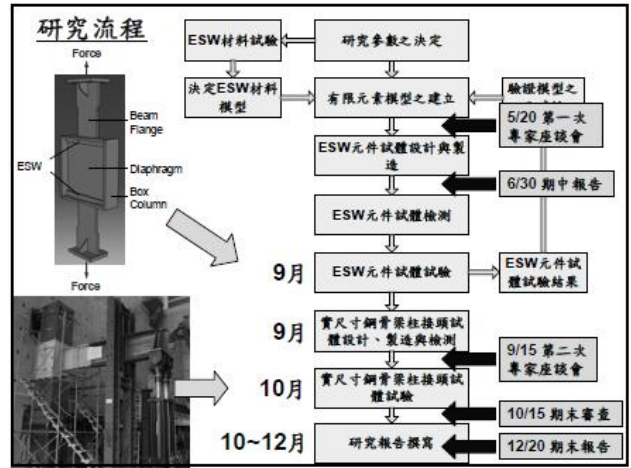
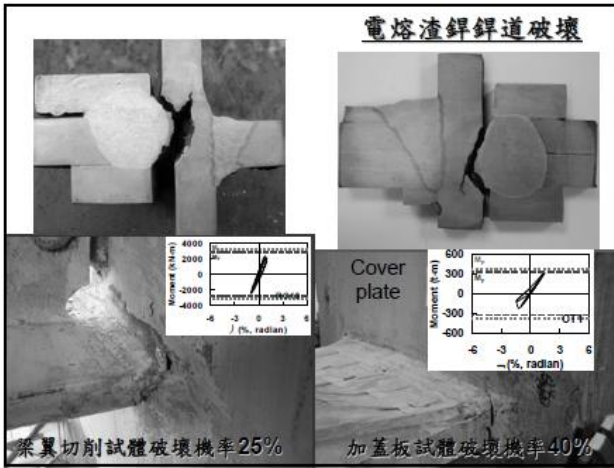
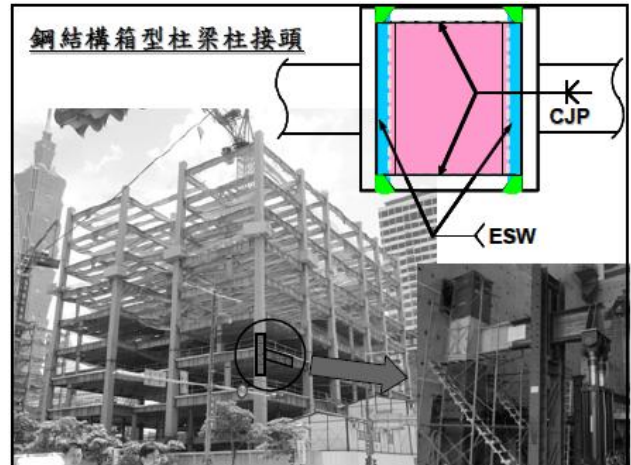


內政部建築研究所100年度
建築先進技術創新開發與推廣應用計畫
協同研究計畫
投標第3案：
「鋼骨梁柱接頭橫隔板耐震性能研究」
第二次專家座談會議

協同計畫主持人：台大土木系
蔡克銓 教授

計畫人員：林克強、莊勝智
林志翰、李昭賢

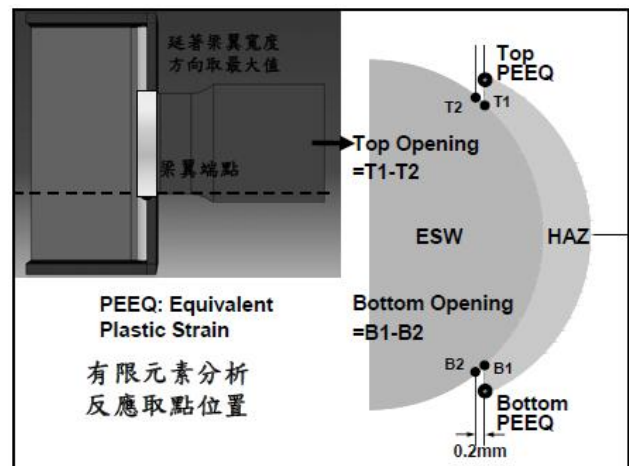
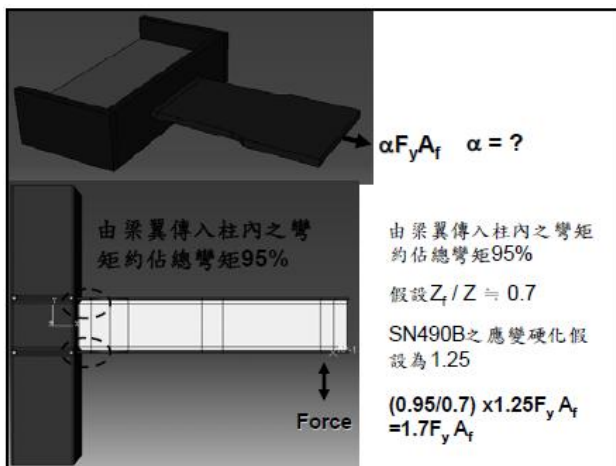
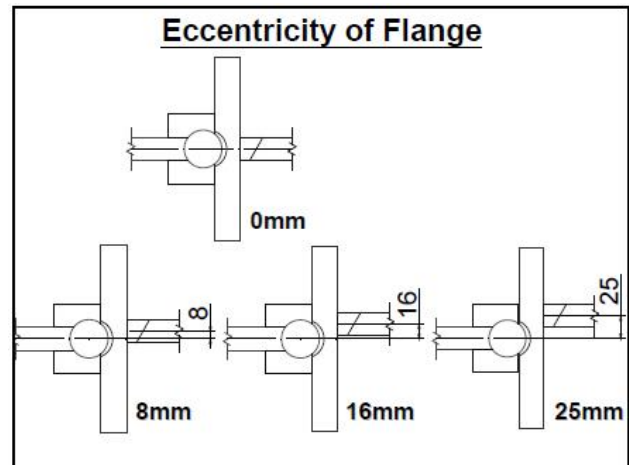
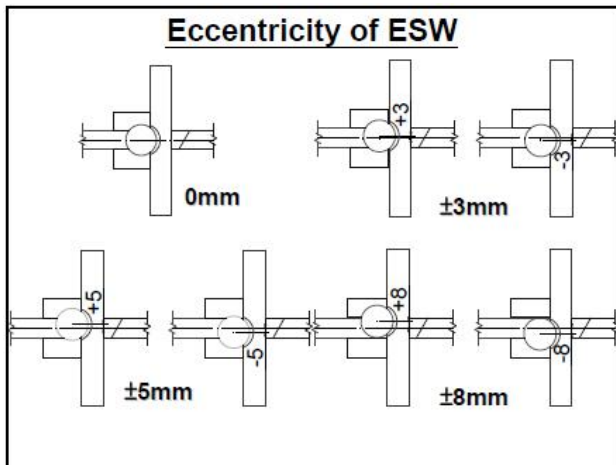
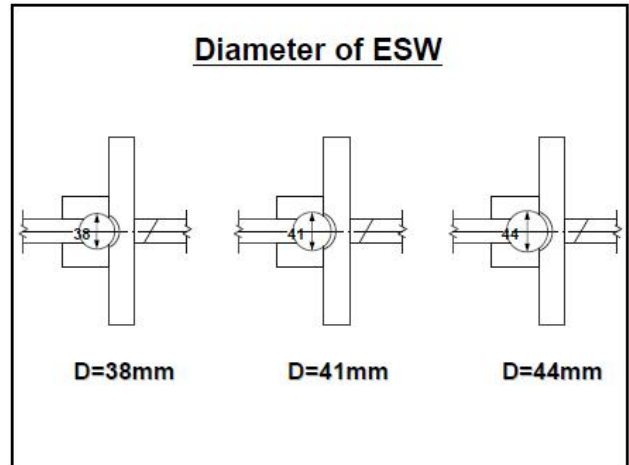
中華民國 100 年 9 月 15 日

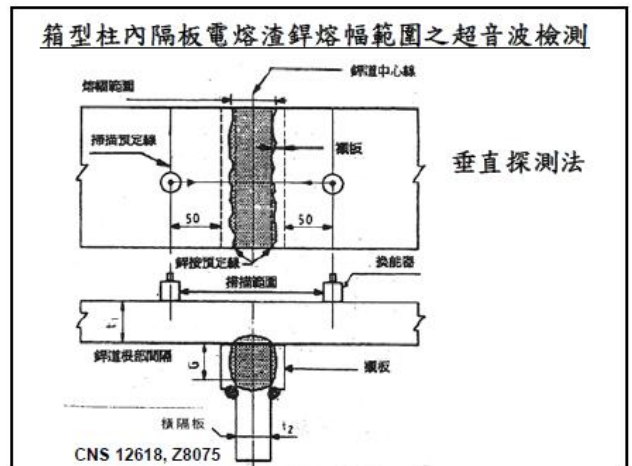
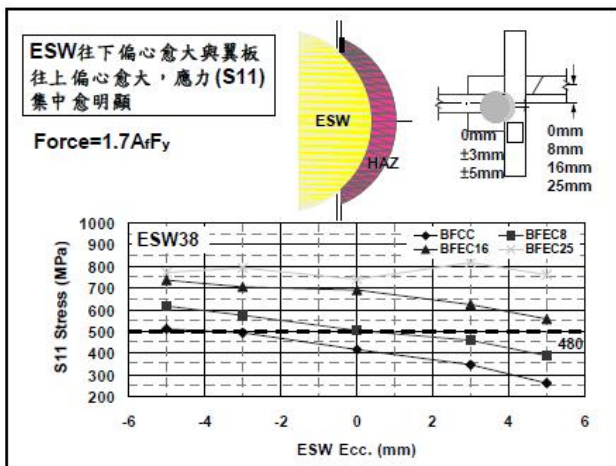
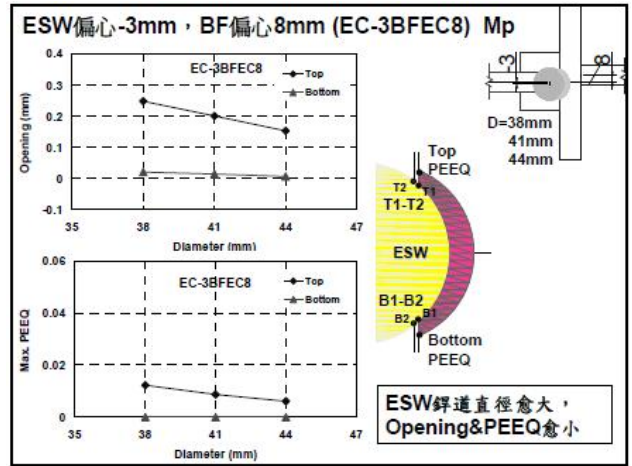
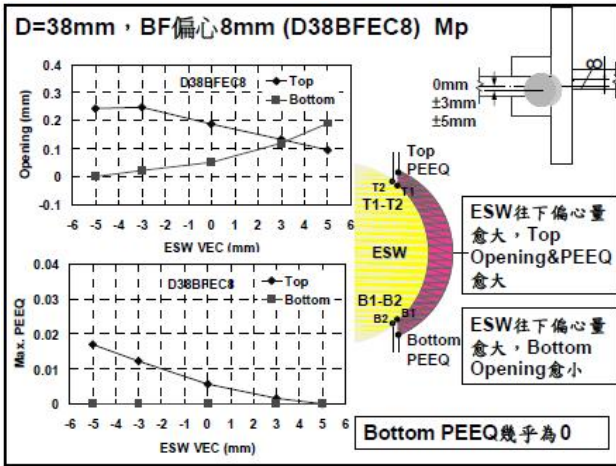
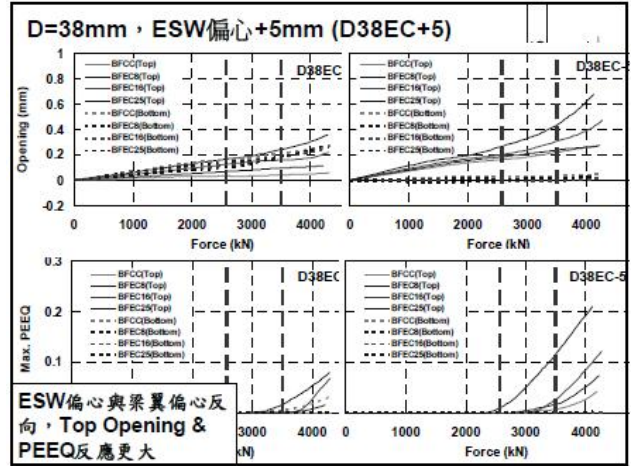
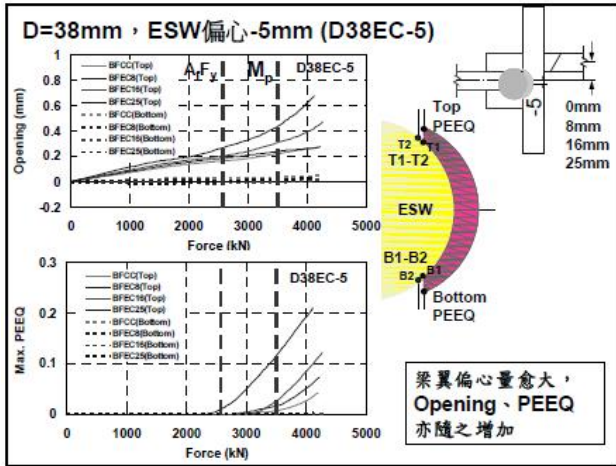


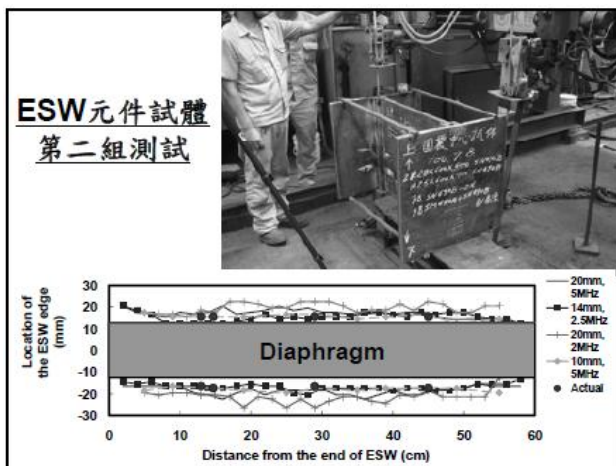
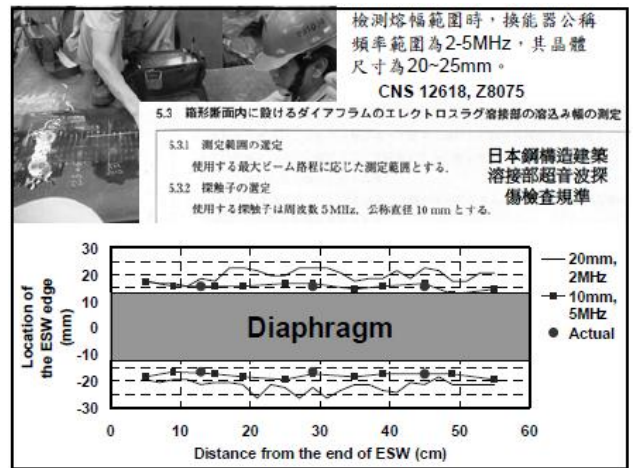
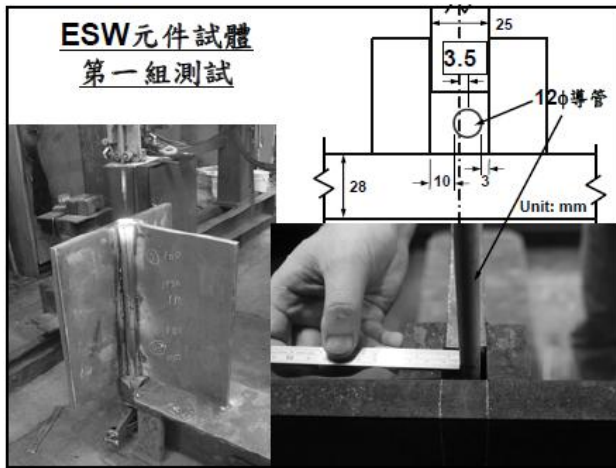
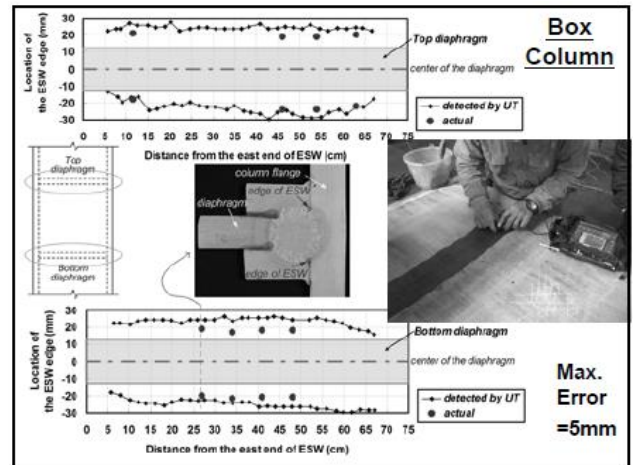
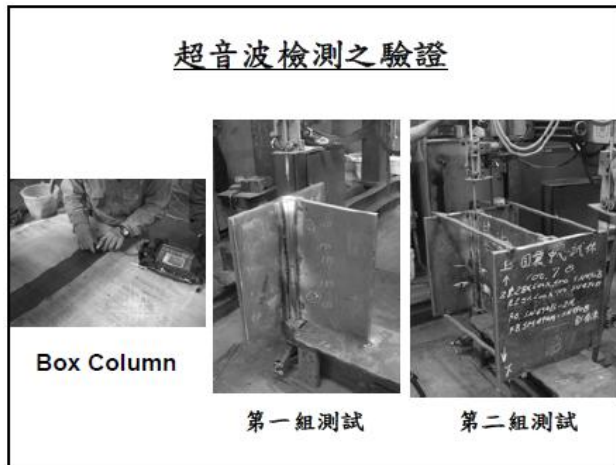
Analysis Parameters of ESW

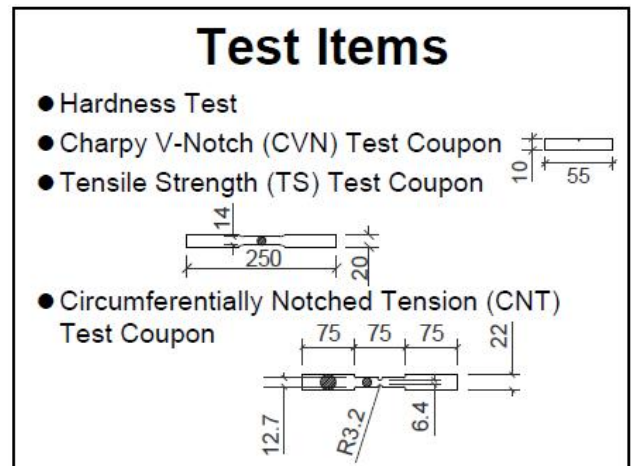
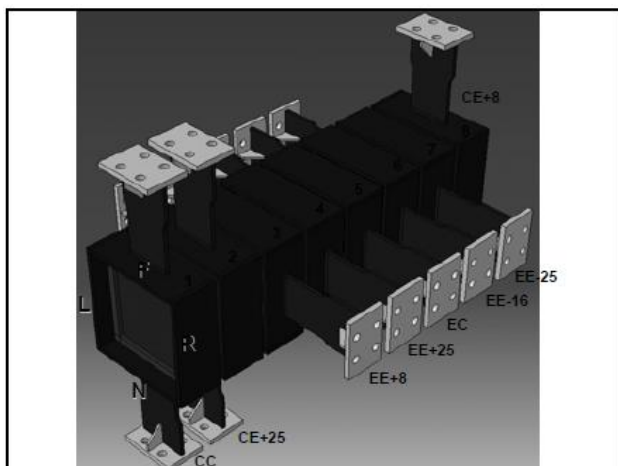
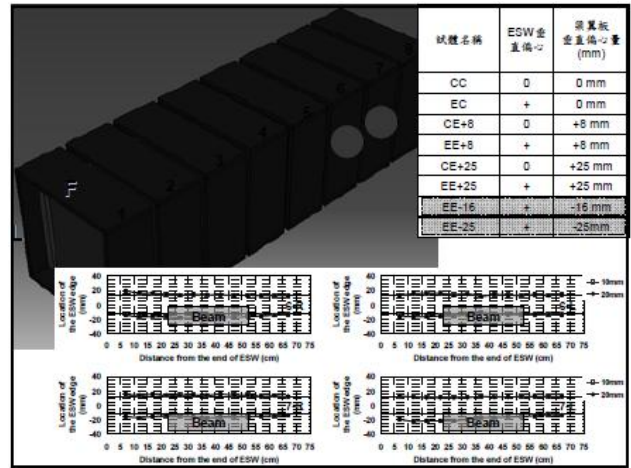
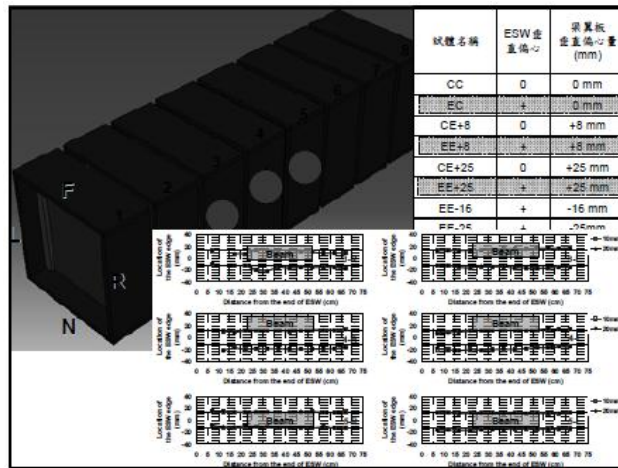
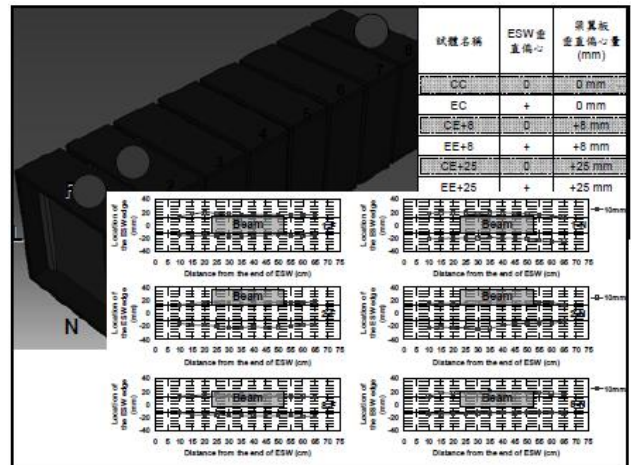
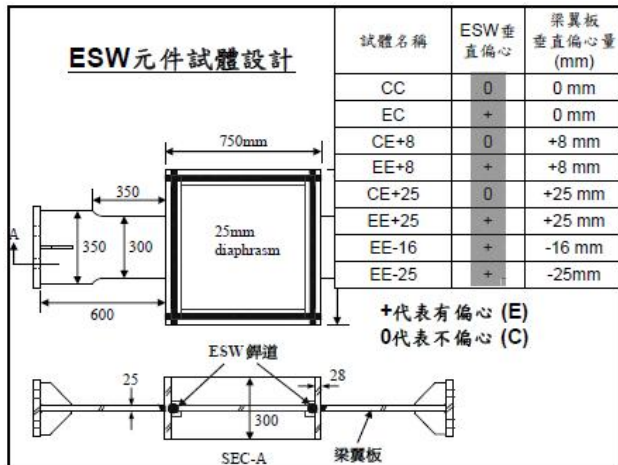
ESW 螺道直徑 (mm)	ESW 垂直偏移量 (mm)	梁翼往上偏移量 (mm)	分析組數
38	-5、-3、0、+3、+5	0、8、16、25	共20組
41	-5、-3、0、+3、+5	0、8、16、25	共20組
44	-8、-5、-3、0、+3、+5、+8	0、8、16、25	共28組

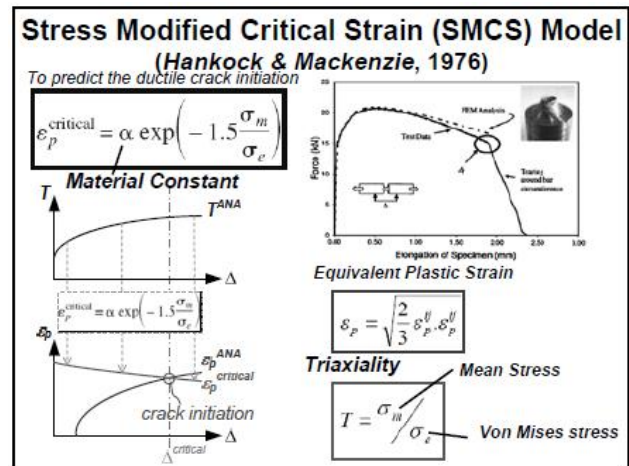
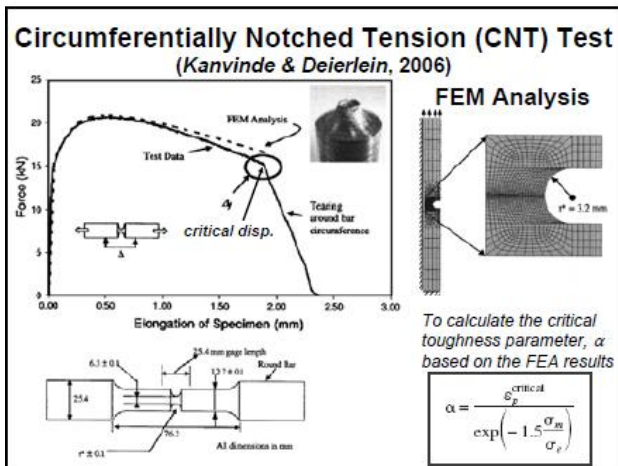
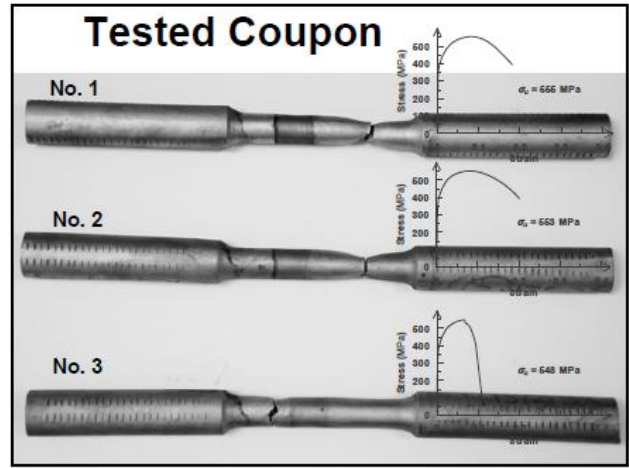
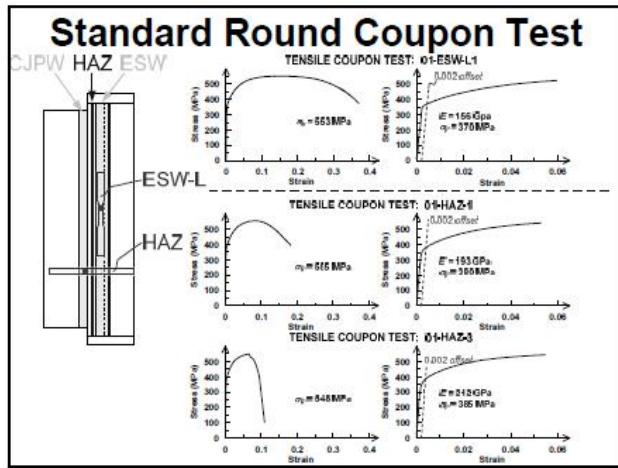
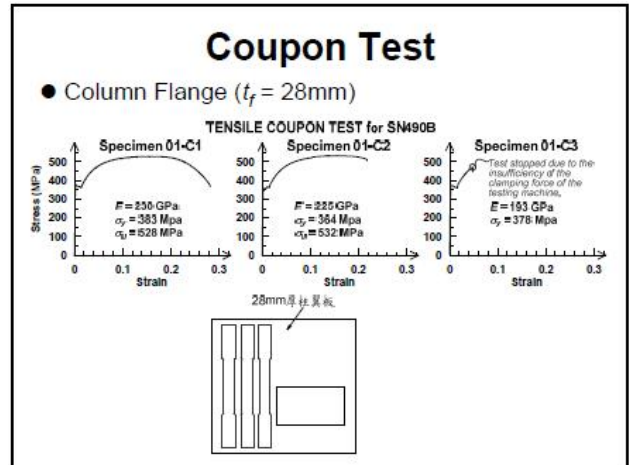
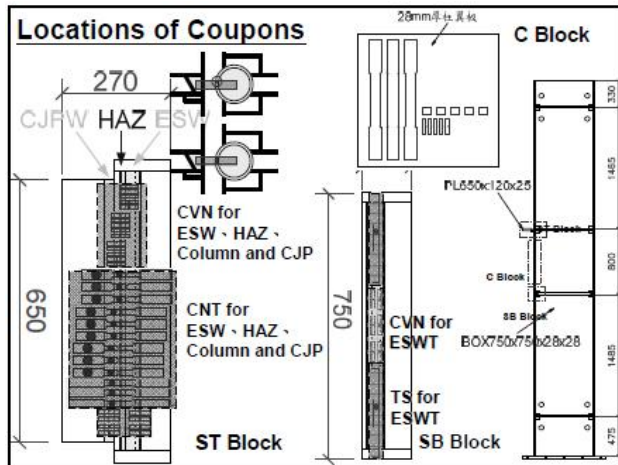
Diagram labels: D38, D41, D44, 0mm, ±3mm, ±5mm, ±8mm, EC, 0mm, +8mm, +16mm, +25mm, BFEC.

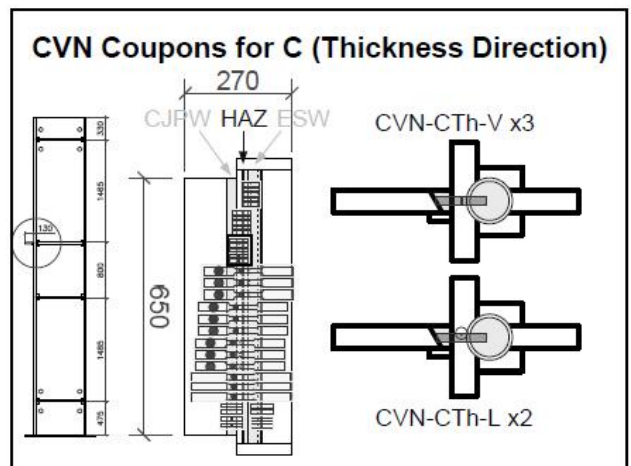
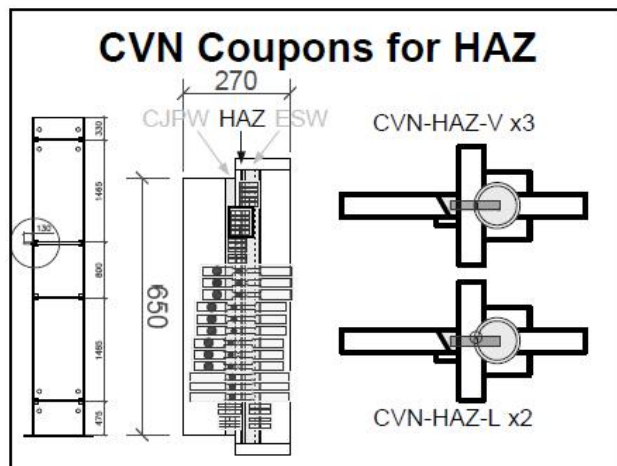
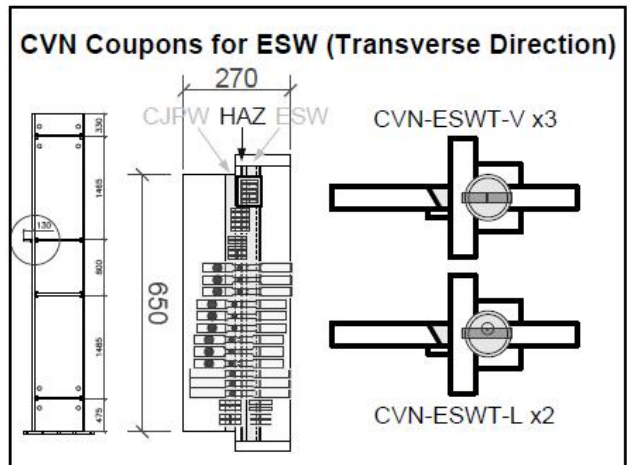
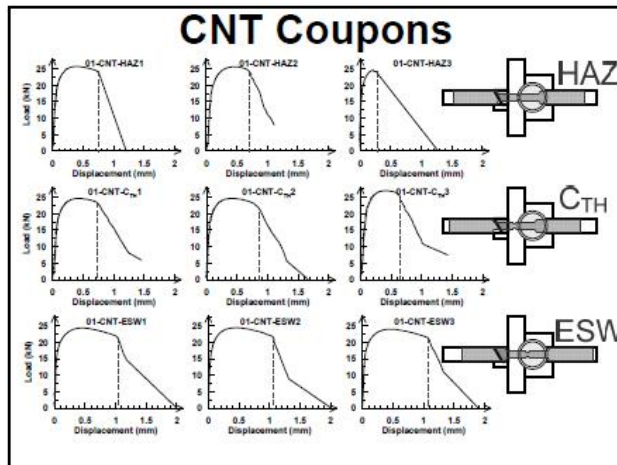
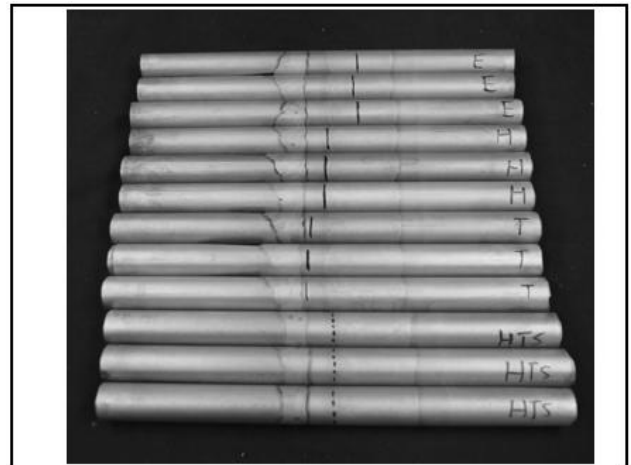
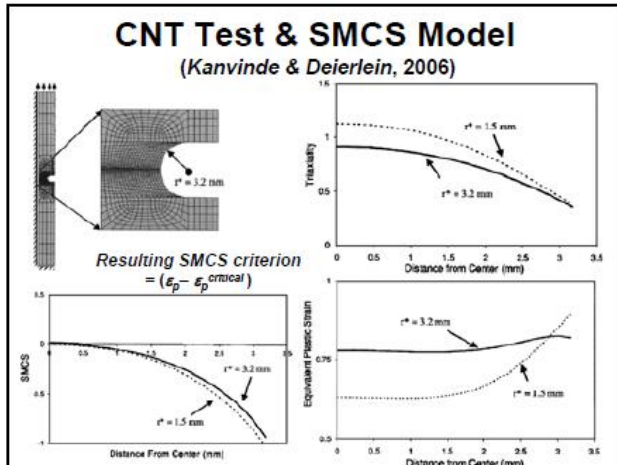


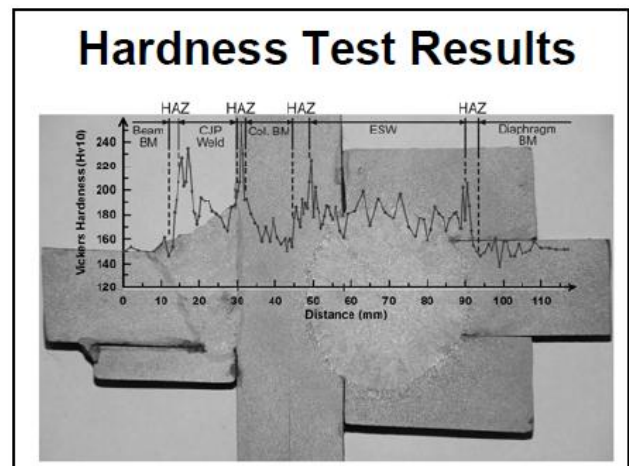
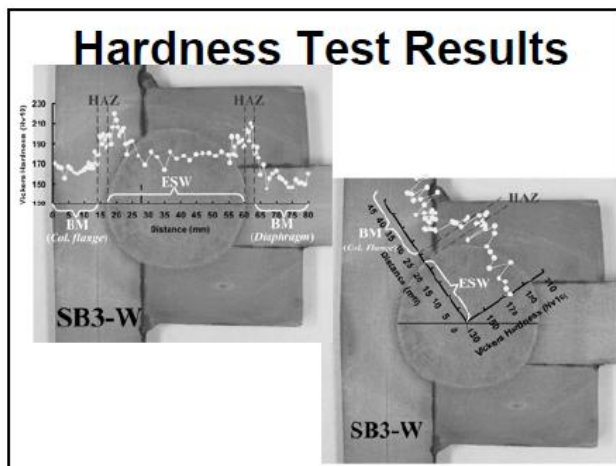
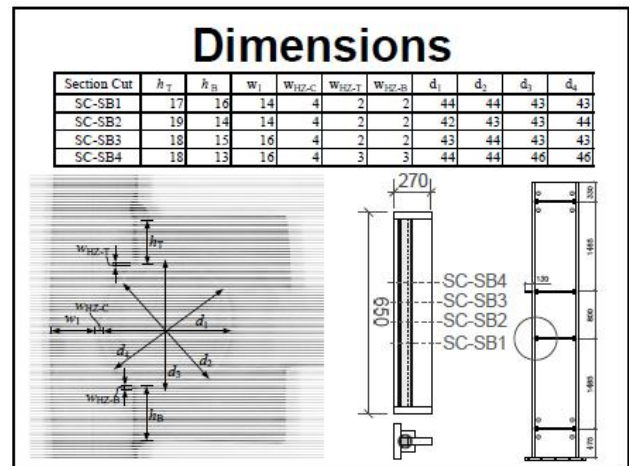
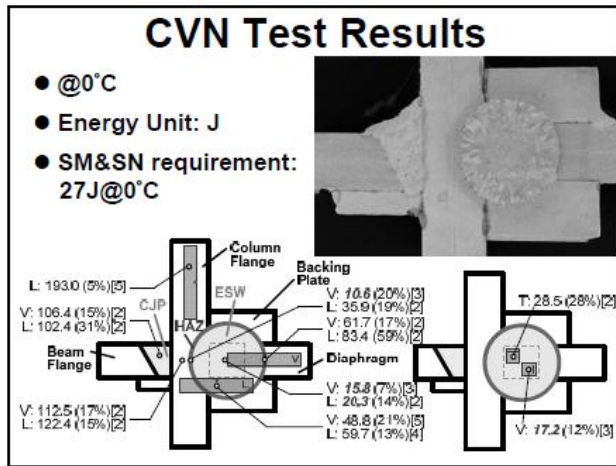
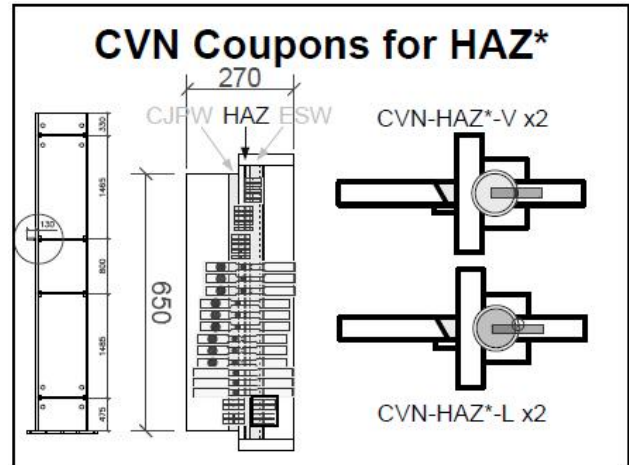
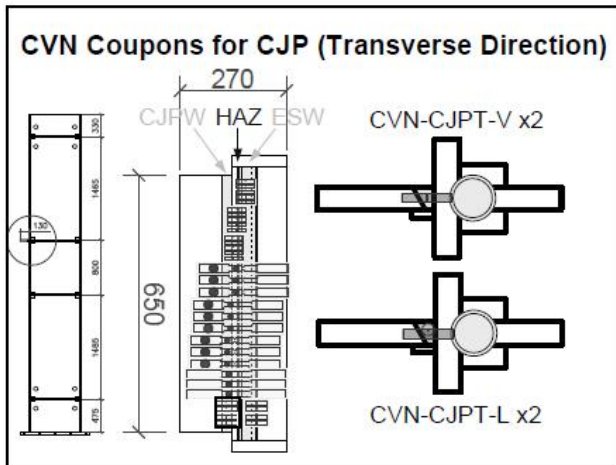


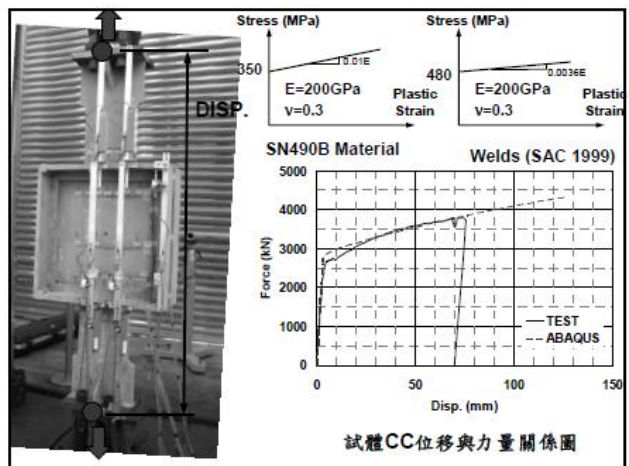
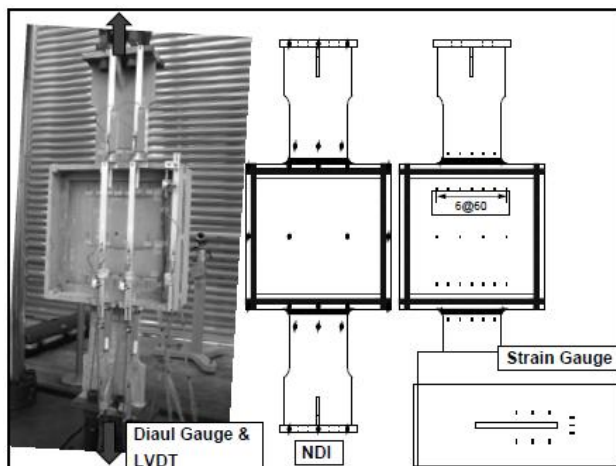
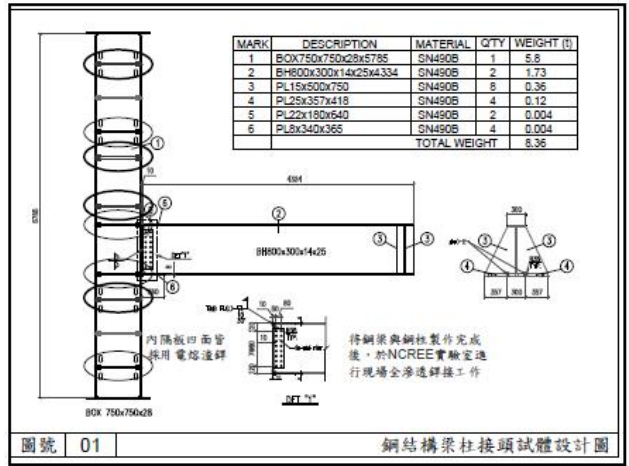
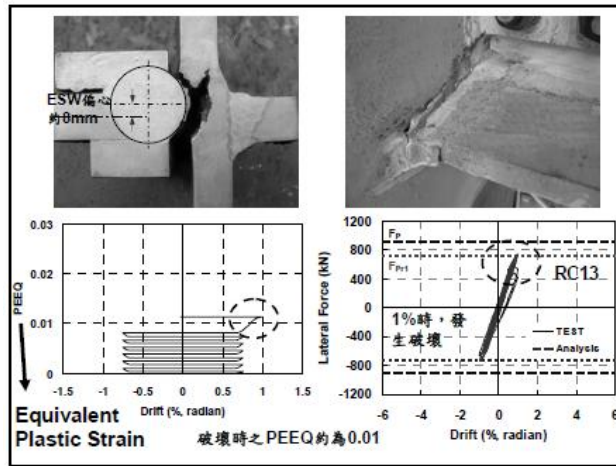
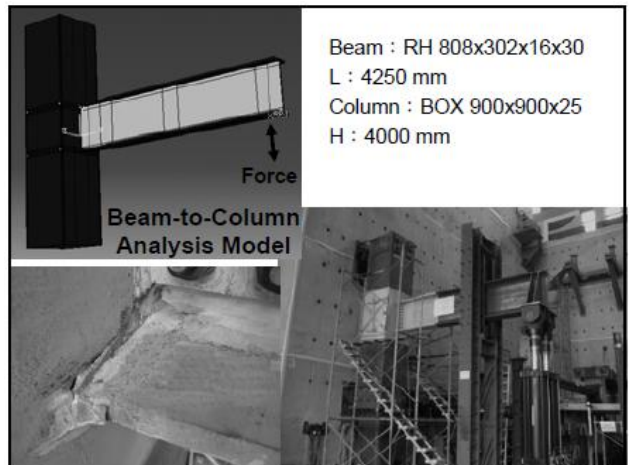
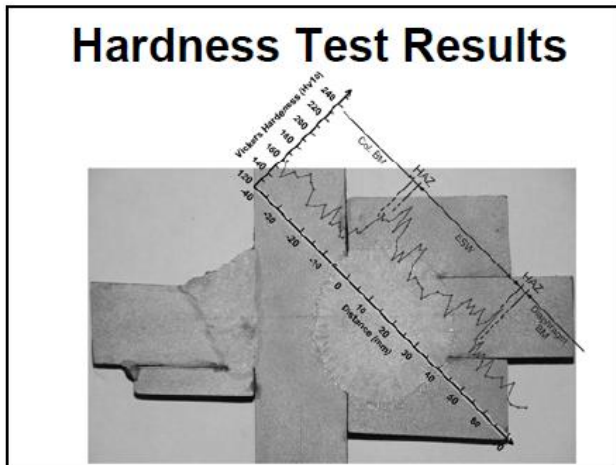




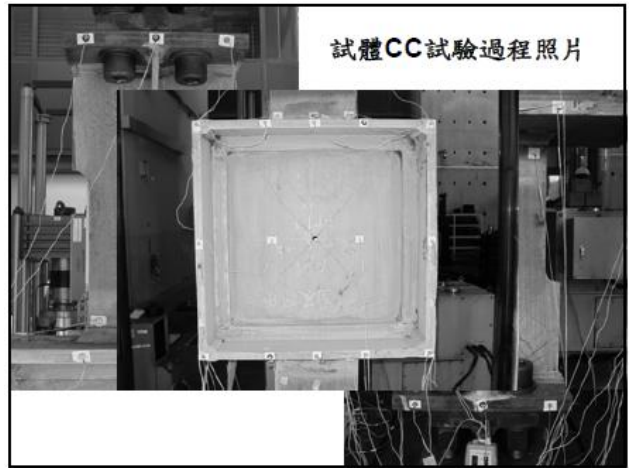
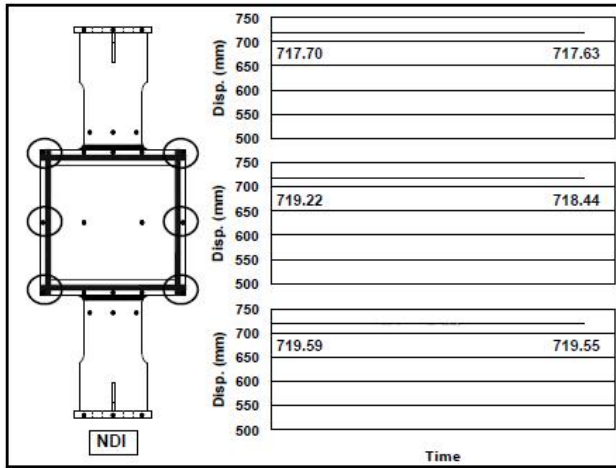








鋼骨梁柱接頭橫隔板耐震性能研究



附錄二 期中與期末審查會議審查意見

期中審查意見

計畫名稱：鋼骨梁柱接頭橫隔板耐震性能研究

審查委員：甘錫澄

審查意見：

1. 台灣箱型柱內橫隔板採用 ESW 之方式施工，可能是全世界採用 BOX 柱最多之國家，因為美國大部分採用 H 型柱，日本之鋼柱與梁之比例也未如此懸殊，故台灣針對此柱橫隔板大量的入熱量影響做專門研究。

1. 由於台灣為全世界採用箱型柱比例最高之國家，加上過去研究案例發現梁柱接頭之電熔渣鐸道破壞機率頗高，故本研究即針對電熔渣鐸道進行一系列之研究。

審查委員：王亭復

審查意見：

1. 本研究案依數值模擬分析結果，似乎既使梁翼板向上偏心+25mm，而 ESW 向上+3mm 偏心有最佳之 Max PEEQ 值，此現象提請注意。
2. 文中提及在未發展非線性變形前，電熔渣鐸道有 25%~40% 比例的試體已破壞，特別經梁翼切削或補強之破壞試驗案例。
3. ESW 鐸道偏心及梁翼偏心既然會造成 PEEQ 值太高而破壞，又施作均可能有容許偏差，則有何對策可予避免。
4. 本研究案報告尚未見 ESW 元件試體選用及試體檢測資料，進度可能落後，宜加速後續工作。

1. 因梁翼向上偏差與 ESW 向上偏心屬同向偏差，故其 MAX. PEEQ 之反應會較小，但梁翼向上偏心+25mm 與梁翼板向上偏心+16mm 及+8mm 之分析結果相比，其梁翼向上偏心+25mm 之 MAX. PEEQ 屬較大之反應。

2.

3. 後續研究將擬提出對策以避免此種非預期破壞發生。

4. 遵照辦理。

審查委員：高健章

審查意見：

1. 本案研究專對目前鐸接工法之可能誤差導致不良後果，進行數值模型分析、小元件試體試驗及大型實體接頭試驗，研究方法正確，且進行順利。
2. 小元件試體鐸道應力狀態是否與實體內者有所不同，宜再探討。

1. 感謝審查委員對本計畫正面之肯定。

2. 將會針對此兩種試體進行有限元素分析，並探討兩者應力狀態。

審查委員：曾慶祥

審查意見：

1. 期中報告書第 5 頁的進度說明，可否進一步詳細說明，與預計進度有無差異？執行過程中有無遭遇困難？如何因應？
1. 依審查委員建議將於後續報告書中詳細說明研究進度、研究途中遭遇之困難與解決方法。

審查委員：石正義

審查意見：

1. 報告書第 24 頁表四“ESW 垂直偏心量(VEC)”相關數值漏植。
2. 報告書第 19 頁之結論建議應提出試驗之際，對原有銲序如銲速、電流、電壓、直徑等參數有那些是定值，那些參數是變值。同時建議說明變動參數是否合於超過原銲序中允許之變化範圍，並說明透過本研究結果，對原銲序提出修正。
1. 依審查委員建議修正。
2. 在電熔渣銲銲接程序中，其送線速度與 ESW 銲道直徑有關，送線速度愈快，銲道直徑愈小，於本研究中主要變化送線速度以製造合適試體進行研究，故對原銲接程序不擬提出修正。

審查委員：陳誠直

審查意見：

1. 本研究有其重要性。
2. 有限元素分析有分析模擬上之限制，建議說明模擬之假設。
3. 報告書內模擬試體破壞時 PEEQ 值是否誤植為 0.1，又破壞時，PEEQ 值為 0.01，則分析模式內有多組偏心模型，將達此破壞指標，PEEQ 值是否為判斷破壞之唯一指標？
4. ESW 元件試體之製作恐不易達到規劃之偏心量，屆時應依實際情況紀錄之。
- 1.
2. 依審查委員建議將於報告中補充說明有限元素分析模擬之假設。
3. 報告書中模擬試體破壞時 PEEQ 為 0.1，該值應為 0.01。而關於 PEEQ 為 0.01 為破壞之指標，後續會再針對其他組梁柱接頭進行分析與試驗之比對，以確認該指標是否恰當，另外，會繼續研讀其他參考文獻，是否有其他合適之破壞指標可以採用。
4. 於 ESW 元件試體製造時，的確不易控制 ESW 之偏心量，故於試體製作時將會實際紀錄 ESW 偏心狀況。

審查委員：鍾立來

審查意見：

1. 從文獻回顧中，此計畫乃建研所第一次執行銲道問題之計畫，若能整理銲道之所有問題，或能有助於建研所後續相關計畫之規劃。
 2. 研究參數包括熔透半徑、銲道偏差及梁翼板偏差，相當具挑戰性，如何控制試體之研究參數，乃一重要課題。
 3. 在數值模擬中，僅說明研究參數對 opening 及 PEEQ 之影響，未說明其對強度與韌性之影響，請補充。
 4. 梁柱接頭兩側之翼板應為一拉一壓，但試驗佈置卻為兩側均承受拉力，有影響否？
-
1. 本計畫僅針對 ESW 銲道進行研究，其他銲道相關問題可請建研所另闢計畫研究之。
 2. 這些研究參數為有限元素分析之參數，實際 ESW 施工時，其熔透半徑與銲道偏差不易控制，故於 ESW 元件試體中將只針對銲道是否偏心進行變化，分成有偏心(EC)與無偏心(CC)兩類試體，其偏心量大小則無法控制，而另再搭配梁翼板偏差進行變化，共有 8 組試體。
 3. 其 PEEQ 為韌性指標之一，故本報告說明參數對 PEEQ 之影響即是說明確認性之影響，而對於強度方面之影響則需透過硬度等相關試驗說明。
 4. 由於銲道受拉較易破壞，當 ESW 元件試體兩側均受拉力時比兩側一拉一壓之應力情況還大，故試驗以試體兩側均承受拉力為主。

期末審查意見

王亭復

(1) 建議第一章第三節為「研究方法及進度」，並另附「表一 預定之研究進度表」。

回覆：遵照辦理。

(2) 依照圖四之表示，至本月為止，本報告僅列 ESW 元件試驗及試驗結果，本報告尚未列入實尺寸梁柱接頭試驗，雖已有試體設計尺寸，但未見詳細設計及試驗方法，盼依進度於 12 月底補充完整。

回覆：實尺寸梁柱接頭試驗預定於 12 月中前完成，詳細設計與試驗方法亦會於期末報告中提出。

(3) ESW 元件試體製箱型柱內橫隔板四面，何以皆採用電渣銲與柱板相接，此製作法與實際工廠製作不同，請說明其用意。

回覆：工業界中使用一般採用兩面電熱熔渣銲、兩面全滲透後，本研究之元件試體試驗主要目的在於研究電熱熔渣銲接合受偏心(ESW 與外側梁翼)之影響，試體製作採四面電熱熔渣銲或兩面電熱熔渣銲對欲觀察之結果應不致有太大影響，加上元件試體重複使用之考量，故決定 ESW 元件試體柱內橫隔板四面均採電熱熔渣銲。

(4) 期望經由本研究案及接續研究，能訂出鋼箱型梁柱隔板 ESW 製作施工標準，並為已完成此類型鋼結構物，建議出耐震樓層轉角，以供既有建築物耐震評估之用。

回覆：本研究主要目的在於經由設計、檢測、施工這三個面向，提升鋼箱型梁柱隔板電熱熔渣銲施工之可靠度，於期末報告中，將提出對於 ESW 施工標準之注意事項與建議。至於相對應之耐震樓層轉角容量，此項工作需要大量試驗與分析數據，須仰賴後續之研究。

(5) 建議參考 FHWA-SA-96 有關 ESW 對於它信賴度與 CVN 等改善方法之 NGI(Narrow Gap Improved)-ESW。

回覆：遵照辦理。

石正義

(1) 報告書第 31 頁倒數第四行「鋼構實務中避免施工偏差...」，實際上不可能施工中不會有誤差。以 AISC 之規定為例，即允許 25 層以下鋼骨建築組立時，有 25 mm 以內的誤差，50 層以下鋼骨建築組立時，有 50 mm 以內的誤差。因此建議將來的研究，宜釐訂允許之施工誤差範圍。

回覆：本研究中採 8mm、16mm、25mm 三種梁翼偏心量，目前僅有 25mm 偏心之三組試體產生電熱熔渣銲之破壞，須配合後續更多的試驗與分析，才能提出施工誤差範圍的建議。

(2) 報告內建議先說明試驗時，所有銲序均已檢證過。

回覆：遵照辦理。

陳正平

(1) 試體之切削為直線，其目的為何？是否採減弱式，可提高安全性。

回覆：對拉元件試體梁板變化之目的係為使其靠近夾具的端部保持彈性，並非模擬減弱式接頭。本研究目的為探討箱型柱內橫隔板電熱熔渣銲耐震行為。梁翼加強或減弱均在研究範圍內。

(2) 橫隔板若開灌漿孔，是否有先破壞之可能，建議後續研究。

回覆：本研究之數值分析與試驗皆未探討到橫隔板開灌漿孔的例子，會將此議題納入未來的研究工作。

(3) 切削轉角破壞之原因為何？是否在達相當塑性轉角需求以後才破壞。

回覆：對拉元件試體梁板切削轉角處的破壞乃因切削表面粗糙所致，所有在此處破壞之試體，皆在梁板塑性區平均應變超過 10% 以上許多的階段才在切削轉角發生破壞，對拉元件試體梁板在破壞前已經歷相當程度的塑性變形。

(4) 電熱熔渣銲已大量使用中，建議增列具體建議，幫助業界改善。

回覆：遵照辦理。

曾慶祥

(1) 目前為止只完成元件試體之試驗，對於實尺寸構件試驗有何預期的目標、成果，若與元件試體試驗結果有所差異時，要如何比對？

回覆：在實尺寸構件試驗中，預期在梁翼與電熱熔渣銲接偏心的試體中會發生電熱熔渣銲道的非韌性破壞。構件試驗結束後會與元件試驗結果進行比對，預計將透過貼於試體上的應變計與非線性有限元素模型，探討電熱熔渣銲道在破壞時的應力與應變狀態。

鍾立來

(1) 試體上下對稱，其破壞模式相同否？若僅一側破壞，則另一側可再作試驗，或可增加試體樣本。

回覆：對拉元件試體之上下兩側的破壞模式應相同。當一側發生破壞後，其軸力承擔能力已經下降，無法在既有的試體與試驗條件下進行另一側的試驗。

(2) 依試驗結果，梁翼板偏心達 25 mm，才會影響銲道之行為，可否依試驗或分析結果，提出容許偏心量。

回覆：本研究分析與試驗所探討的案例為梁翼偏心 8mm、16mm、25mm 三種情況，在元件試驗中僅有 25mm 偏心之三組試體產生電熱熔渣銲破壞，須配合後續之試驗與分析，才能提出施工誤差範圍的建議。

(3) 梁翼寬與柱寬之比例，會影響試驗結果否？

回覆：在本研究的分析與實驗中，梁翼與柱寬的比例固定。不同的梁柱翼板寬度比例對於橫隔板應力分布與電熱熔渣銲道破壞之影響，可納入未來的研究課題中。

參考書目

1. 林克強、莊勝智、張福全、張柏彥 (2008), 「台灣典型鋼梁與箱型柱採梁翼切削或梁翼加蓋板抗彎接頭之破壞模式」, 第五屆海峽兩岸及香港鋼結構技術交流會。
2. Ker-Chun Lin and Sheng-Jhih Jhang, “ Seismic Behaviors and Design Method on Steel Beam-to-Box Column Connections with Cover Plate,” *Structural Engineering*, Vol 25, No.2, pp.75-92, 2010 (in Chinese)
3. Tsai K. C., and Lin, K. C., “Effect of flange stiffeners on seismic beam-to-box column connections,” *Report No. NTU/CEER R81-01*, Center for Earthquake Engineering Research, National Taiwan University, February 1992, Project No.: NSC-81-0414-p-002-10-B
4. Cheng-Chih CHEN, Chien-Lin LAI, and Ker-Chun LIN (2009), “FINITE ELEMENT ANALYSIS OF ELECTRO-SLAG WELDING FOR DIAPHRAGMS IN STEEL BOX COLUMN,” The Eleventh Taiwan-Korea-Japan Joint Seminar on Earthquake Engineering for Building Structures SEEBUS 2009, Kyoto, Japan, December 3-5, 2009.
5. 張惠雲、劉琨泰、陳政宇、林克強 (2010) 「鋼電熱熔渣銲件微觀結構研究」, 中華民國力學學會第三十四屆全國力學會議。
6. 梁宇宸、陳正誠、蔡顯榮, 「受高入熱量 ESW 銲接下箱型鋼柱材質之影響」, 中華民國第九屆結構工程研討會, 國賓大飯店, 高雄, 2008 年 8 月 22~24 日。
7. Architectural Institute of Japan (AIJ). (2006). Recommendation for Design of Connections in Steel Structures, AIJ, Tokyo, Japan. pp. 79-86 (in Japanese)
8. 鋼構造建築物鋼結構設計技術規範(一)鋼結構容許應力設計法規範及解說 (2007), 內政部營建署
9. 鋼構造建築物鋼結構設計技術規範(二)鋼結構極限設計法規範及解說 (2007), 內政部營建署
10. 建築物耐震設計規範及解說(2002), 內政部營建署
11. AISC (2005), “*Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*,” American Institute of Steel Construction.
12. AISC (2005), “*Specification for Structural Steel Buildings*,” American Institute of Steel Construction.
13. FEMA (2000), “*Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings*,” FEMA 350, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
American Welding Society (1992), D1.1-1992, Structural Welding Code.

鋼骨梁柱接頭橫隔板耐震性能研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：鄭元良、李台光、蔡克銓、汪家銘、林克強、莊勝智

出版年月：100 年 12 月

版次：第一版

ISBN：978-986-03-1127-3（平裝）